

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-212733

(43) 公開日 平成8年(1996)8月20日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

G 1 1 B 21/10

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

A 8425-5D

W 8425-5D

5/596

審査請求 未請求 請求項の数41 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願平7-314439

(22) 出願日 平成7年(1995)12月1日

(31) 優先権主張番号 3 4 9 0 2 8

(32) 優先日 1994年12月2日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 4 0 5 2 6 1

(32) 優先日 1995年3月16日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシー  
ズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSIN  
ESS MACHINES CORPO  
RATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 エドワード・ジョン・ヤルムチュク

アメリカ合衆国10589 ニューヨーク州ソ  
マーズフランクリン・ドライブ 19

(74) 代理人 弁理士 合田 潔 (外2名)

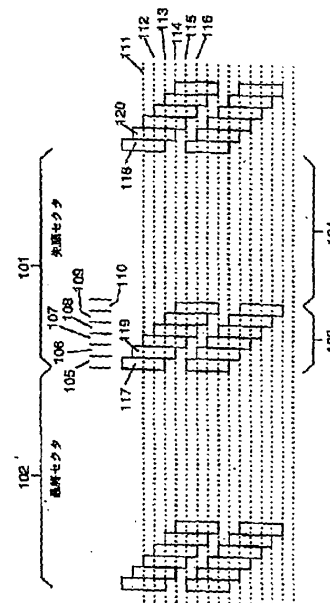
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ディスクにサーボ書き込みを行うための方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 媒体上にパターンを書き込むための方法、特に回転ディスクの半径方向にヘッドを位置決めするためのサーボ制御アクチュエータを備えたディスク・ドライブ中でディスクに自己でサーボ書き込みを行うための方法。

【解決手段】 ディスクと相互作用するヘッドからのリードバック信号から誘導した計測済み相対位置波形と基準波形の差に、位置誤差信号が等しくなる。この方法は、アクチュエータを使用し、アクチュエータの開ループ伝達関数と計測した少なくとも1つの位置波形の関数として基準波形を誘導することによって、ディスクの半径方向で連続した複数のトラックにサーボパターンを書き込むステップを含む。サーボ・ループの周波数依存ゲインは、該当サーボ・ループの開ループ応答が、ディスク回転周波数の整数倍の各点で1未満にはなるが、機械的外乱を大幅に排除するには十分な大きさを有するように設定できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、および前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段を備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための方法であって、

前記ディスクからサーボ位置情報が読み取られるように前記アクチュエータを位置決めするため、サーボ・ループを使用して前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込むステップと、

前記サーボ・ループの閉ループ応答が、ディスク回転周波数の整数倍の各点で1未満になるが、機械的外乱を大幅に排除するには十分な大きさを有するように、前記サーボ・ループの周波数依存ゲインを設定するステップとを含む方法。

【請求項2】前記閉ループ応答がすべての周波数で1未満になることを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項3】回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および位置誤差信号が、前記ディスクと相互作用する前記ヘッドからのリードバック信号から誘導した計測済み相対位置波形と基準波形の差に等しくなる、前記ディスクの半径方向位置に前記ヘッドを位置決めするためのサーボ制御アクチュエータを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための方法であって、

前記サーボ制御アクチュエータを使用して前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込むステップと、

前記アクチュエータの閉ループ伝達関数と計測した1つ以上の位置波形の関数として前記基準波形を誘導するステップとを含む方法。

【請求項4】前記閉ループ伝達関数が周波数に依存し、前記基準波形が前記計測済み位置波形の周波数依存フィルタリングから誘導されることを特徴とする、請求項3に記載の方法。

【請求項5】計測済み位置波形が前記ディスクの少なくとも1回転を表すことを特徴とする、請求項3に記載の方法。

【請求項6】前記位置誤差信号が少なくとも1トラックの計測に基づいて誘導されることを特徴とする、請求項3に記載の方法。

【請求項7】前記の少なくとも1トラックに、前記連続トラックの先行トラックが含まれることを特徴とする、請求項6に記載の方法。

【請求項8】閉ループ伝達関数の大きさが1よりはるかに小さいことを特徴とする、請求項3に記載の方法。

【請求項9】回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読

み取りを行わせる手段、および位置誤差信号が、前記ディスクと相互作用する前記ヘッドからのリードバック信号から誘導した計測済み位置波形と基準波形の差に等しくなる、前記ディスクの半径方向位置に前記ヘッドを位置決めするためのサーボ制御アクチュエータを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための方法であって、

前記サーボ制御アクチュエータを使用して前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込むステップと、

先行する少なくとも1つの半径方向トラックからの前記位置誤差信号に基づいて連続した半径方向トラックの前記基準波形を誘導するステップとを含む方法。

【請求項10】前記基準波形誘導ステップが、円形トラック上にサーボパターンを書き込んでいる最中に計測した位置誤差信号の離散的フーリエ変換の複素数係数を少なくとも1つ計算するステップと、

前記の少なくとも1つの複素数係数に少なくとも1つの複素数フィルタ係数 $f$ を掛けてフィルタリング済み係数を少なくとも1つ作成するステップと、

前記の少なくとも1つのフィルタリング済み係数から離散的逆フーリエ変換を計算するステップと、前記離散的逆フーリエ変換を公称平均基準レベルに加えて前記基準波形を形成するステップとを含むことを特徴とする、請求項9に記載の方法。

【請求項11】前記サーボ制御アクチュエータの閉ループ応答 $C$ の所定の関数から $f$ が計算されることを特徴とする、請求項10に記載の方法。

【請求項12】 $f = f = (S - C) / (1 - C)$  ( $S$ の大きさは1未満)で示し、それによってサーボパターンの位置誤差の増加を抑制することを特徴とする、請求項11に記載の方法。

【請求項13】回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、および前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段を備えたディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための装置であって、

前記ディスクからサーボ位置情報が読み取られるように、前記ヘッドに、前記アクチュエータを位置決めするためのサーボ・ループを含む前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込ませる手段と、

前記サーボ・ループの閉ループ応答が、ディスク回転周波数の整数倍の各点で1未満になるが、機械的外乱を大幅に排除するには十分な大きさを有するように、前記サーボ・ループの周波数依存ゲインを設定する手段とを備える装置。

【請求項14】前記閉ループ応答がすべての周波数で1未満になることを特徴とする、請求項13に記載の装

置。

【請求項 1 5】回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および位置誤差信号が、前記ディスクと相互作用する前記ヘッドからのリードバック信号から誘導した計測済み相対位置波形と基準波形の差に等しくなる、前記ディスクの半径方向位置に前記ヘッドを位置決めするためのサーボ制御アクチュエータを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための装置であって、

前記サーボ制御アクチュエータを使用して前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込む手段と、

前記アクチュエータの閉ループ伝達関数と計測した 1 つ以上の位置波形の関数として前記基準波形を誘導する手段とを備える装置。

【請求項 1 6】前記計測済み位置波形の周波数依存フィルタリングによって前記基準波形を誘導する手段を備え、前記閉ループ伝達関数が周波数に依存することを特徴とする、請求項 1 5 に記載の装置。

【請求項 1 7】計測済み位置波形が前記ディスクの少なくとも 1 つの回転を表すことを特徴とする、請求項 1 5 に記載の装置。

【請求項 1 8】前記位置誤差信号が少なくとも 1 本のトラックからの計測に基づいて誘導されることを特徴とする、請求項 1 5 に記載の装置。

【請求項 1 9】前記の少なくとも 1 本のトラックに前記連続トラック内で先行するトラックが含まれることを特徴とする、請求項 1 8 に記載の装置。

【請求項 2 0】閉ループ伝達関数の大きさが 1 よりはるかに小さいことを特徴とする、請求項 1 5 に記載の装置。

【請求項 2 1】回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および位置誤差信号が、前記ディスクと相互作用する前記ヘッドからのリードバック信号から誘導した計測済み位置波形と基準波形の差に等しくなる、前記ディスクの半径方向位置に前記ヘッドを位置決めするためのサーボ制御アクチュエータを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための装置であって、

前記サーボ制御アクチュエータを使用して前記ディスクの半径方向の連続したトラックにサーボパターンを書き込む手段と、

先行する少なくとも 1 本の半径方向トラックの前記位置誤差信号に基づいて連続した半径方向トラックの前記基準波形を誘導する手段とを備える装置。

【請求項 2 2】前記基準波形を誘導する前記手段が円形トラック上にサーボパターンを書き込んでいる最中に計測した位置誤差信号の離散的フーリエ変換の複素数係数

を少なくとも 1 つ計算する手段と、

前記の少なくとも 1 つの複素数係数に少なくとも 1 つの複素数フィルタ係数  $f$  を掛けてフィルタリング済み係数を少なくとも 1 つ作成する手段と、

前記の少なくとも 1 つのフィルタリング済み係数から離散的逆フーリエ変換を計算する手段と、

前記離散的逆フーリエ変換を公称平均基準レベルに加えて前記基準波形を形成する手段とを備えることを特徴とする、請求項 2 1 に記載の装置。

10 【請求項 2 3】前記乗算手段で、前記サーボ制御アクチュエータの閉ループ応答  $C$  の所定の関数から  $f$  を計算することを特徴とする、請求項 2 2 に記載の装置。

【請求項 2 4】 $f$  を  $f = (S - C) / (1 - C)$  ( $S$  の大きさは 1 未満) で示し、それによってサーボパターンの位置誤差の増加を抑制することを特徴とする、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 2 5】回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および前記ディスクから読み取ったサーボ位置情報に従って前記アクチュエータを位置決めするためのサーボ・ループを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための方法であって、

1 本のトラックに沿って一連の第 1 パターンを書き込むステップと、

トラックに対する既知の割合だけヘッドを移動させるステップと、

30 前記既知の割合に対する前記ヘッドの偏差を表す偏差情報を決定するための位置情報を前記第 1 パターンのうち選択したものから読み取り、第 2 パターン中に符号化された前記偏差情報を使用して前記移動位置に第 2 パターンを伝播するステップとを含む方法。

【請求項 2 6】回転ディスク、前記ディスクと相互作用するためのヘッド、および前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めする手段を備えるディスク・ドライブ中でパターンを伝播するための方法であって、(a) 第 1 トラックに第 1 パターンを書き込むステップと、

40 (b) 前記第 1 パターンのうち選択したものの振幅を読み取って格納することにより、選択した振幅を格納するステップと、(c) トラック幅に対するある割合だけ前記ヘッドを移動し、前記の選択した第 1 パターンに対応する第 2 パターンを書き込むステップと、(d) ステップ(c)を反復することによって、半径方向で選択された位置に前記ヘッドが到達するまで前記ヘッドを連続して  $n$  回移動させて追加のパターンを書き込むステップと、(e) 前記第 1 トラックと前記の半径方向で選択した位置との中間位置で前記ヘッドを位置決めするステップと、(f) 前記中間位置に前記ヘッドがあるときの前記第 1 パターンの振幅と、前記の選択して格納した振幅

f 5  
の第1の比率を計算するステップと、(g)前記中間位置に前記ヘッドがあるときの前記追加パターンの振幅と、前記の選択した位置に前記ヘッドがあるときの前記の第2の比率を計算するステップと、(h)前記両方の比率がほぼ等しくなるまで、前記ヘッドを反復して位置決めし、各位置でステップ(f)と(g)を繰り返すステップと、(i)前記の比率を所期の値と比較して、前記所期の値からの偏差を決定するステップと、(j)後続の反復するステップ(a)～(i)で前記偏差が最小になるように、連続したパターンの書き込み間隔を調整するステップとを含む方法。

【請求項27】ヘッドの読み取り素子と書き込み素子が別々になっていることを特徴とする、請求項26に記載の方法。

【請求項28】自己伝播プロセス時にディスク・ファイルに対するサーボ書き込みの際の半径方向の位置決めに使用されるサーボ・ループの公称平均基準レベルを調整することによって所期のトラック間隔を決定して維持する方法であって、通常のシーケンス処理を中断し1つまたは複数の半径方向位置をバックアップすることによって計測を実行し、離れた1つまたは複数の半径方向位置にある一連のバースト間の相対的バースト振幅の計測に基づいて前記公称平均基準レベルの変化を計算する方法。

【請求項29】伝播ステップの数がスロット数に等しくなった後のあるスロットでバーストを反復する際に、記録用変換器の読み取り素子が、そのスロット内の他のバーストからの妨害を受けずに各バーストのエッジをまたぐことができるような間隔が存在するように、十分な数の独立タイム・スロットから構成される振幅バースト伝播パターンを確立するステップと、

前記公称平均基準レベルの初期推定値を使用して、ある割合の読み取り素子があるタイム・スロットにおいて第1組のバーストの下側の位置とオーバーラップするが、同じ割合の読み取り素子が別のタイム・スロットにおいて第2組のバーストの上側の位置とオーバーラップする、伝播方向と反対方向に較正リードバック位置に読み取り素子が移動できるのに十分な第1のステップ数だけ伝播を行うステップであって、前記の第1組と第2組のバーストが所定の伝播ステップ数Pだけ離して書き込まれ、前記オーバーラップの割合が前記所期のトラック間隔に対応する所定の所期のオーバーラップの割合に等しくなるように前記バーストが前記所期のトラック間隔に対して所定の間隔を有するステップと、

読み取り素子を前記較正リードバック位置に移動し、以前に自己伝播プロセスの一部として計測し格納した対応するオントラック振幅で各バーストのリードバック振幅を割った値に等しい計測済みオーバーラップの割合を決定し、前記所期のオーバーラップの割合と前記計測済みオーバーラップの割合の差に $2/P$ を掛けた値に等しい前記公

6  
称平均基準レベル減少係数の補正項を計算し、前記補正項またはその一部を前記公称平均基準レベルに加えることによって再較正を行うステップと、  
所定の第2のステップ数だけ自己伝播を続行し、その後で前記再較正手順を再度実行するステップと、  
サーボ書き込みが完了するまで、前記第2ステップ数ごとに自己伝播ステップと再較正ステップを繰り返すステップとを含む、請求項28に記載の方法。

【請求項30】ディスク・ファイルに対するサーボ書き込み時に半径方向の位置決めのために自己伝播を使用して書き込まれたサーボパターンの偶発位置誤差から発生する前記ディスク・ファイルの復調済み位置信号の偏差を取り消す方法であって、

製品サーボパターンの前記部分を書き込む時点の直前に計測された自己伝播サーボ・ループの位置誤差信号から計算される変調を、製品サーボパターンの各部分に適用するステップであって、前記変調がディスク・ファイルの通常の操作時に復調済み位置信号を変化させ、その変化が前記偶発位置誤差による前記復調済み位置信号の偏差と反対方向で値がほとんど等しいことを特徴とするステップと、

伝播バーストを書き込む時点に近い時点で計測した自己伝播サーボ・ループの位置誤差信号から計算した修正と公称平均基準レベルを併用して各伝播バーストごとに個別に計算された自己伝播基準テーブル値を使用するステップであって、前記基準テーブル値が、次の伝播ステップでの自己伝播サーボ・ループの位置誤差信号を後で計算する際に前記伝播バーストの偶発位置誤差によるリードバック振幅の変化を大幅に取り消すことができるようなものであるステップとを含む方法。

【請求項31】前記ディスクと相互作用するためのヘッド、ディスクの半径方向にヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、およびアクチュエータの位置を制御するためのサーボ・ループを備えるディスク・ドライブにサーボ書き込みを行う方法であって、

伝播バースト書き込み時にサーボ・ループの周波数依存ゲインを1未満の値に設定するステップと、

製品サーボ・パターンの書き込み時にサーボ・ループの周波数依存ゲインを別の値に設定するステップとを含む方法。

【請求項32】ディスクの半径方向の任意の位置にヘッドを位置決めする手段を備えるディスク・ドライブ中で回転ディスクに自己サーボ書き込みを行うための装置であって、

ディスク上の特定のセクタへの読み書きを制御するためのタイミング回路、

伝播バーストと製品サーボパターン用の書き込みデータを生成するためのパターン発生器、

書き込みデータの相対的タイミングを調整するための時間遅延装置、

ディスクに書き込まれた遷移のリードバック振幅を計測するための振幅検出回路、  
計測したリードバック振幅値とディスク基準トラック値を含む量を格納するためのメモリ、  
瞬間的なリードバック振幅を対応する元の全トラック振幅で正規化するための除算器、  
マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ、および高速のステップ移動と停止を可能にし、前記ディスクにサーボ書き込みを行う際にトラック形状誤差の増加を抑える、可変制御パラメータを有するサーボ・コントローラを備える装置。

【請求項 3 3】それぞれ複数の遷移から構成されるバーストが複数個、異なる半径方向位置にある複数個の各トラックに沿って書き込めるようにディスク・ファイルの内部記録用変換器を制御する手段、  
任意の前記バーストからの磁気信号のリードバック振幅を決定して格納する手段であって、前記リードバック振幅がディスクの各回転で更新される手段、  
ディスクの回転周波数の整数倍に等しい任意の周波数で増幅なしで機械的外乱を全般的に大幅に排除するという特性を備えた閉ループ伝達関数を有するサーボ位置決め用制御ループを備え、記録用変換器を前記半径方向位置に位置決めするために内部アクチュエータを制御する手段、  
前記複数のバーストを前記半径方向位置の第 1 に書き込む手段、  
前記半径方向第 1 位置に書き込まれた前記複数のバーストのそれぞれについて、バースト間の間隔より短い時間に格納された第 1 組の基準振幅のそれぞれから前記リードバック振幅を引くことによって前記サーボ位置決め用制御ループの位置誤差信号を作成する手段であって、前記位置誤差信号によって、前記位置誤差信号がほとんどゼロになるような前記半径方向位置の第 2 の位置に内部アクチュエータが移動される手段、  
前記内部アクチュエータの前記第 2 の半径方向位置への前記の移動を完了させることができる第 1 の所定の時間遅延の後で、前記第 2 の半径方向位置に前記複数のバーストを書き込む手段であって、前記第 2 の半径方向位置における前記複数のバーストのそれぞれが、前記第 1 の半径方向位置に書き込まれた前記複数のバーストのそれぞれの後に第 2 の所定の時間遅延で書き込まれ、前記位置誤差信号が、前記第 1 の半径方向位置に書き込まれた前記複数のバーストの前記リードバック振幅から決定され続ける手段、および前記サーボ位置決め用制御ループの前記位置誤差信号の作成を、現半径方向位置に書き込まれた前記複数バーストにおける前記リードバック振幅の各振幅をバースト間の間隔より短い時間に格納された 1 組の基準振幅のそれぞれから減算するように切り替えるプロセス全体を通してシーケンス処理を反復する手段であって、前記位置誤差信号によって、前記位置誤差信

号がほぼゼロになる次の半径方向位置まで内部アクチュエータが移動され、続いて前記内部アクチュエータの前記次の半径方向位置への移動を完了させることができる前記第 1 所定の時間遅延の後に前記次の半径方向位置に前記複数のバーストを書き込み、前記次の半径方向位置における前記複数のバーストのそれぞれが前記現半径方向位置に書き込まれた前記複数のバーストのそれぞれの後に次の所定の時間遅延で書き込まれ、前記位置誤差信号が前記現半径方向位置に書き込まれた前記複数のバーストの前記リードバック振幅から決定され続ける手段を備えるディスク・ファイル・サーボ書き込み装置。

【請求項 3 4】前記位置誤差信号が、前記複数のバーストのそれぞれについて、正規化されたリードバック振幅を前記格納済み基準振幅のそれぞれから減算することによって作成され、前記バーストを書き込んでからアクチュエータを移動させるまでの間にディスクの余分な回転の最中に計測され格納された 1 組の振幅中の対応する素子で前記リードバック振幅のそれぞれを除算して、前記正規化済みリードバック振幅が計算されることを特徴とする、請求項 3 3 に記載の装置。

【請求項 3 5】前記位置誤差信号の作成に使用される前記格納済み基準振幅をシーケンス処理全体を通してある間隔で変更することによって、トラック間隔がディスク全体で所期の関数形式に綿密に従うようにすることを特徴とする、請求項 3 3 に記載の装置。

【請求項 3 6】通常のシーケンス処理を中断し 1 つまたは複数個の半径方向位置をバックアップすることによって計測を実行し、半径方向位置が 1 つまたは複数個離れているバースト間での相対的サーボ振幅の計測に基づいて格納済み基準振幅の変化を計算することを特徴とする、請求項 3 5 に記載の装置。

【請求項 3 7】格納済み基準振幅の変化が各セクタで異なり、対応するバーストが書き込まれた期間中に計測された位置誤差信号の格納済みの値を使用して計算されることを特徴とする、請求項 3 5 に記載の装置。

【請求項 3 8】回転ディスク、読み取り素子と書き込み素子が別々になっており、前記ヘッドを前記ディスクの半径方向で位置決めするためのアクチュエータ用ヘッド、および前記ディスクに書き込まれた自己サーボ書き込みパターンを備えるディスク・ドライブであって、  
系統的誤差を除去することによってトラック間隔がディスク面全体で所期の関数に従うように前記パターンが書き込まれることを特徴とするディスク・ドライブ。

【請求項 3 9】回転ディスク、ヘッドと、前記ヘッドを前記ディスクの半径方向で位置決めするためのアクチュエータ、および前記ディスク上に自己サーボ書き込みパターンを書き込む手段を備えるディスク・ドライブであって、  
系統的誤差を除去することによって、トラック間隔が該

当ディスク面全体で所期の関数に従うように前記パターンが書き込まれることを特徴とするディスク・ドライブ。

【請求項4・0】往復媒体と相互作用するためのヘッド、ヘッドを媒体に対して位置決めするためのアクチュエータ、および前記ヘッドに前記媒体からの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段を備える媒体にパターンを書き込むための方法であって、

前記媒体からサーボ位置情報が読み取られるように、前記アクチュエータを位置決めするためにサーボ・ループを使用して前記媒体の連続したトラックにパターンを書き込むステップ、

前記サーボの閉ループ応答が、往復周波数の整数倍の各点で1未満になるが、機械的外乱を大幅に排除するには十分な大きさを有するように、前記サーボ・ループの周波数依存ゲインを設定するステップを含む方法。

【請求項4・1】往復媒体と相互作用するためのヘッド、媒体に対してヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、前記ヘッドに前記媒体への情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および前記媒体から読み取ったサーボ位置情報に従って前記アクチュエータを位置決めするためのサーボ・ループを備える媒体にパターンを書き込むための方法であって、

1本のトラックに沿って一連の第1パターンを書き込むステップと、

トラックに対する既知の割合だけヘッドを移動させるステップと、

前記既知の割合に対する前記ヘッドの偏差を表す偏差情報を決定するための位置情報を前記第1パターンのうち選択したものから読み取り、第2パターン中に符号化された前記偏差情報を使用して、前記移動位置に前記第2パターンを伝播するステップとを含む方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般的には、コンピュータ用のハード・ディスク・ドライブ記憶装置に関する。より詳細には、ディスク・ドライブ装置と、ディスク・ドライブ装置にサーボ・トラック情報を書き込むための方法に関する。さらに具体的には、記録媒体の記録面上にサーボパターンを確立するための機械的または光学的あるいはその両方の複雑な位置決めシステムの必要性を軽減する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】国際特許出願WO94/11864号に記述されているように、ボイス・コイルその他のタイプのサーボ・ポジションナによってより高いトラック密度が可能になり、かつ磁気抵抗MRヘッド技術などを使用することにより、より幅の狭いトラックが読み書きできるようになったことの直接の結果として、フロッピー・ディスク・ドライブおよびハード・ディスク・ドライブの

記憶容量が増大した。低トラック密度のディスク・ドライブは従来、親ねじおよびステップ・モータ機構でヘッドの十分な位置決めが行えた。しかし、トラック密度が高くなりすぎ、親ねじとステップ・モータを組み合わせた機構での機械誤差がトラック間隔に比べて大幅に大きくなったため、読み取った信号からヘッドの位置を決定できるように埋め込み型サーボが必要となっている。

【0003】従来のハード・ディスク製造技術では、ヘッド・ディスク・アセンブリ(HDA)の媒体上に特殊なサーボ書き込み装置でサーボ・トラックを書き込んでいる。このような装置では、レーザによる位置決めフィードバックを用いて、サーボ・トラックの書き込みに使用する記録ヘッドの実際の物理位置を読み取っている。しかし、残念なことに、HDA自体が非常に小さく、かつHDAが適正に動作するかどうかはそのカバーと casting) が適正位置にあるかどうかにかかっているため、サーボ書き込みのためこのようなサーボ書き込み装置をHDAの内部環境に入れることはますます困難になっている。HDAの中には、サイズと厚さがプラスチックのクレジットカードと同じものもある。従来のサーボ書き込み方法では、このような超小型化レベルには不十分である。

【0004】従来のサーボ・パターンは通常、データ・トラックの中心線からその両側に非常に精密な距離だけずれた位置にある定周波数信号の短いバーストを含む。このバーストは、セクタのヘッダ領域に書き込まれ、トラックの中心線の検出に使用できる。読み取りと書き込みのどちらの場合にも、中心線上に位置することが必要である。セクタは、1トラック当たり17〜60個、あるいはそれ以上存在する可能性があるため、1データ・トラックに同数のサーボ・データ領域を分散させなければならない。これらのサーボ・データ領域を使用すれば、スピンドルのぐらつき、ディスクのすべり、熱膨張などでトラックが丸みを失ったときでも、ヘッドはディスク上でトラックの中心線をたどることができる。技術の進歩によるディスク・ドライブの小型化とトラック密度の向上につれて、サーボ・データの配置もより正確にしなければならない。

【0005】サーボ・データは従来、専用の外部サーボ書き込み装置によって書き込まれており、通常は大きな花崗岩ブロックを使用してディスク・ドライブをサポートし、外部振動の影響を抑えている。補助の刻時ヘッドが、記録用ディスクの表面上に挿入され、基準タイミング・パターンの書き込みに使用される。非常に正確な親ねじを備えた外部ヘッド/アーム・ポジションナと位置フィードバック用のレーザ変位計測装置が変換器の正確な位置決定のために使用され、それに基づいてトラックの位置と間隔が決定される。ディスクとヘッドは外部のヘッドとアクチュエータからアクセスできるように外界に露出されることになるため、サーボ書き込み装置にはク

11

リー・ルーム環境が必要である。

【0006】オリヴァー（O l i v e r）他による米国特許第4414589号では、位置決め手段の走行範囲内で最初のリミット・ストップの所に可動型読み取り／書き込みヘッドの1つを配置することによって最適なトラック間隔を決定するサーボ書き込みを教示している。この場合は、最初の基準トラックが、可動型ヘッドで書き込まれる。次に、所期の平均トラック密度に経験的に対応している所定の減衰数または振幅減衰率X%が選択される。続いて、最初の基準トラックが、可動型ヘッドで読み取られる。そして、最初の基準トラックの振幅が元の振幅のX%に減衰するまで、可動型ヘッドが、最初のリミット・ストップから遠ざけられる。その後、第2の基準トラックが可動型ヘッドで書き込まれ、第2の基準トラックの振幅が元の値のX%に減衰するまで可動型ヘッドが同じ方向に再度遠ざけられる。基準トラックを連続的に書き込み、振幅が元の値のX%に減衰するのに十分な量だけ可動型ヘッドを移動させるというこのプロセスが、ディスク全体に基準トラックを書き込むまで続けられる。このようにして書き込まれた基準トラックの数がカウントされ、位置決め手段の走行範囲内で第2のリミット・ストップに到達するとこのプロセスは終了する。書き込み済みトラック数と可動型ヘッドの走行距離はわかっているため、平均トラック密度が所期の平均トラック密度の所定の範囲内にあるかチェックされる。平均トラック密度が高いと、ディスクは消去され、値X%を小さくしてこのプロセスが繰り返し実行される。平均トラック密度が低いと、ディスクは消去され、値X%を大きくしてこのプロセスが繰り返し実行される。平均トラック密度が所期の平均トラック密度の所定の範囲内にあると、所与の平均トラック密度に対して所期の減衰率X%が決定され、サーボ書き込み装置は次のサーボ書き込みステップに進むことができる。

【0007】残念なことに、上記特許は、外部刻時ヘッドによって実施されるという理由で、内部記録データ・ヘッドを使用した刻時トラックの生成方法を開示していない。また、上記特許は、伝播時のトラック間隔の決定方法も教示していない。そのため、トラック間隔を決定するためには、ディスク面全体に対する書き込みと書き込み済みトラック数のカウントが必要となる。さらに、上記特許は、ディスク・ドライブにおいて複数のヘッドを様々に変化させ、それに応じてトラック・ピッチを設定することについては検討していない。最後に、上記特許は、半径方向の伝播進行中における誤差蓄積の抑制方法も教示していない。

【0008】やはり国際特許出願WO94/11864号に記述されているが、ディスク・ドライブ自体の変換器対を使用してサーボパターンを書き込む方法が、1990年3月27日に発行されたヤンツ（J a n z）による米国特許第4912576号に記載されている。3種

12

類のサーボパターンを使用して、速度に正比例した勾配の差分信号を供給する3相信号を生成している。公称トラック間隔より半径方向の幅が著しく広いサーボパターンが可能である。これにより、リードバック振幅が改善され、したがってサーボ性能も改善される。ヤンツは、変換器からの信号のレベルが、ディスク上に記録された特定のパターンとの整列度を示す尺度となることに気付いている。磁束ギャップがパターンの40%しか掃引しない場合、読み取り電圧は、変換器を当該パターンの真中に合わせたときに得られる最大電圧の40%になる。上記特許ではこの現象を使用して、データ・トラック用の中心線経路に沿ってずらした交互のパターン3個のうち2個をカバーしている。

【0009】上記特許では、好ましい方法において、ディスクの一方の面をサーボ用に、他方の面をデータ用に確保している。ディスク・ドライブは、その両面に1つのアクチュエータを共用する2つの変換器を備えている。消去済みのディスクをデータの初期設定のためにフォーマットする際は、第1位相のサーボがサーボ面の外縁部に書き込まれる。次に、変換器は、第1位相のサーボ・トラックの振幅によって指示されたとおり半径方向に半トラック内側に移動され、最初のデータ・トラックがデータ面に記録される。変換器は、今度は最初のデータ・トラックの振幅によって指示されたとおり半径方向に半トラック内側に移動され、第2位相のサーボ・トラックがサーボ面に記録される。次に、変換器は、第2位相のサーボ・トラックの振幅によって指示されたとおり半径方向に半トラック内側に移動され、第2データ・トラックがデータ面に記録される。次に、変換器は、第2データ・トラックの振幅によって指示されたとおり半径方向にやはり半トラック内側に移動され、第3位相のサーボ・トラックがサーボ面に記録される。次に、変換器は、第3位相のサーボ・トラックの振幅によって指示されたとおり半径方向に半トラック内側に移動され、第3データ・トラックがデータ面に記録される。2つの面全体が書き込まれるまでこの交互動作が繰り返される。書き込み済みのトラック数が少なすぎたり、多すぎたりすると、ディスクは再度フォーマットされるが、半トラックの幅より少し多くまたは少なくとも内側に進むように、適宜若干の調整がなされる。ディスク・ドライブ全体が正しい間隔のサーボ・トラックでフォーマットされると、データ・トラックはその目的を果たし、ユーザ・データを受け取る準備として消去される。

【0010】残念なことに、上記特許の方法では、ディスクの1面全体がサーボ・トラックに使用され、2つのヘッドがタンデムに動作する必要がある。また、トラック間のビット同期も制御できず、複数のトラック間でデータを検索する際はシーク時間が著しく悪影響を受けることになる。ディスクが1回転する間に発生する変換器の浮上高さの変動とスピンドルの振れ、および媒体の不

13

整合によって、オフトラック読み取り信号の振幅を単に読み取ることによって半径方向の位置決定が損なわれる可能性がある。従来技術の方法は、きわめて高性能のディスク・ドライブには不十分である。

【0011】「Regenerative Clock Technique For Servo Track Writers」と題するIBM Technical Disclosure BulletinのVol. 33, No. 5 (1990年10月) 所載の論文では、製品ヘッドを用いて、外部の位置エンコーダ・ディスクは使用せずに、カバーをはめたヘッド/ディスク・アセンブリのサーボ書き込みを行うことが提案されている。単一の刻時トラックが、外径位置に書き込まれ、交互にAとBの位相に分割される。この場合、ヘッドは、交互に各位相を入力刻時情報として使用して、一時に半トラックずつ内側にステップ移動する。この刻時情報を使用すれば、各データ・フィールドの直前にあるサーボ・セクタ内にサーボ情報を書き込み、交互の位相でさらに刻時信号を書き込むことができる。半トラックずつステップ移動することにより、直前に書き込んだ刻時情報を読み取ることができる。この技法により、専用のサーボ書き込み装置の刻時ヘッドとそれに関連する機構が不要になる。

【0012】国際特許出願WO 94/11864号では、記録面を備える回転ディスク、該面ならびに面上で変換器を半径方向に掃引するためのサーボ・アクチュエータ手段と相互作用する変換器、該変換器に接続した可変ゲイン読み取り増幅器、該可変ゲイン増幅器に取り付けたAD変換器(ADC)、該変換器に結合され該ディスク面を直流消去するための消去周波数発振器、該ADCに現れるデジタル出力を格納するためのメモリ、および変換器の読み取り振幅が該デジタル・メモリ内に存在する読み取り済み振幅に対してある比率になるような半径方向位置まで移動するよう該サーボ・アクチュエータに信号を送るコントローラを備えたハード・ディスク・ドライブが教示されている。トラック間のビット同期は、第1の刻時トラックをクロージャ付きで書き込み、刻時バーストの正規のシーケンスを含む次の刻時トラックを半トラックずらして書き込んで、次に刻時バーストの書き込み間で第1の刻時トラックを読み取り、その読み取った信号を使用して次のトラックの刻時バーストの書き込み時に基準値として使用される発振器の周波数を固定できるようにすることによって維持される。このようにして刻時バーストの市松模様を作成される。以降のトラックはすべて、刻時バーストを含む最後に書き込んだトラックから半トラックずらして順次ステップ移動し、直前のトラックの刻時バーストとインターレースさせて次の新しい一連の刻時バーストを書き込むことによって作成する。

【0013】半径方向の自己伝播に関する従来の技術記録用の内部変換器と製品アクチュエータだけを使用してディスク・ファイルへのサーボ書き込みを行う自己サ

14

ーボ書き込みと呼ばれる方法では、大きく分けて、正確なタイミングを供給するための磁気遷移の書き込みと読み取りを行うサブプロセス、リードバック信号の振幅内の振動を高感度の位置変換器として使用し半径方向の一連の位置に記録用変換器を移動するサブプロセス、およびこの2つのサブプロセスによって定義された時間間隔と半径方向の位置に従って実際の製品サーボパターンを書き込むサブプロセスという、3つのサブプロセスを組み合わせて使用している。本発明では、先行技術、特にオリヴァー他による米国特許第4414589号、クリブス(Cribbs)他による国際特許出願WO 94/11864号、ならびにチェイナー(Chainer)他による米国特許出願第08/028044号に記述されているように、自己伝播と呼ばれる半径方向位置決め方法の大きな欠点を解決する。ディスク・ファイルへのサーボ書き込みに適用される自己伝播の概念は、サーボ書き込みのコストに関して大きな恩恵を約束する(1983年のオリヴァー他による米国特許第4414589号などで指摘されている)ものであるが、商品化がまだ

実施されていない。

【0014】簡単に述べると、前述の技術の欠点は、従来のサーボ書き込みに比べてサーボパターンの配置が低精度であることに伴うものである。ディスク・ファイル内のトラック間隔を従来より狭くするには、サーボパターンの書き込み精度を上げる必要がある。自己伝播のコスト上の利益は、サーボパターンが低精度であるという問題を究明して解決しない限り、従来のサーボ書き込み技術に取って代わるには不十分である。自己伝播を使用する際にサーボパターンの精度が落ちることの要因としては、誤差の累積と高レベルの偶発的機械動作の2つがある。従来のサーボ書き込み装置では、半径方向のポジションは外部装置であり、その質量が比較的大きくかつ、振動が最小の大きな花崗岩ブロックに堅固に取り付けられているため、記録用変換器を安定に配置できた。そのため、記録用変換器の偶発的な機械動作をきわめて小さく保つことができ、サーボパターンによって画定されるトラックの形状はほとんど真円である。発生する誤差はトラック間で相関関係がほとんどないため、誤差の累積は問題にならない。トラック間の平均間隔は、レーザ変位計測装置の使用によって正確に維持される。自己伝播の場合、アクチュエータのサーボ制御に使用する半径方向の位置信号は、以前のステップの最中に書き込まれたパターンのリードバック振幅の計測値から得られる。プロセスの1ステップでの誤差が次のステップにおける記録用変換器の位置に影響を与える可能性があるため、きわめて多数のステップの累積効果を考慮することが非常に重要である。

【0015】簡単な解決方法は、動的に追跡するのではなく、弱いサーボ制御だけを使用して、半径方向の位置誤差を平均化することである。この手法は、チェイナー



他の特許出願に記述されている。また、オリヴァー他による特許にも、暗示されている。上記特許では、伝播パターンが、各ステップで物理的に上書きされる。これはリードバック振幅が書き込み時には決定できないことを意味しており、したがってサーボ・コントローラはパターンに合わせて動的に調整することができず実質上自由に動作しているはずである。しかし、偶発的機械動作は、非常に厳格なサーボ制御によってしか小さく維持できない。そのため、誤差の累積を除去するには、偶発的機械動作の度合いが高くなるという犠牲を払わなければならない。この解決方法は魅力がない。また、低帯域幅のサーボを使用するには、適正位置へのステップ移動と設定に時間がかかるため、サーボ書き込み時間とコストの増加につながる。

【0016】クリプス他の特許出願は、サーボ制御で書き込み済みパターンのエッジを動的に追跡することを提案しているが、それが誤差の累積にどのような影響を与えるかについては論じていない。事実、上記出願は、正にこのような累積効果から発生すると思われるアクチュエータの「乱調」および「ディザリング」を減らすための改善方法について記述している。この改善方法がサーボ書き込みプロセス中の過度の累積誤差を実際に除去するものではなく、単にその存在を隠すものであることについては、後述の説明で明らかになろう。

【0017】サーボパターンの誤差の種類によって、ディスク・ファイルの最終的な性能に与える重要性は異なる。ディスク上における各トラックの半径方向の絶対位置は、距離が大きく離れたトラック間を高速でシークしている最中でも、トラック・カウントの通常の更新が可能であるため、中程度に制御するだけでよい。同様に、絶対単位での平均トラック間隔は、さほど厳密な制約を受けない。アクチュエータの内側と外側の機械的ストップ位置の間に所期の数のデータ・トラックが含まれるように絶対的な最大間隔は存在するが、ディスク・ファイルの記録用変換器の幅が十分に狭い限り、その間隔をこの最大値より小さくしても悪影響はない。すなわち、重要なのは絶対間隔ではなく、むしろ記録用変換器を基準とした相対間隔である。ディスク・ファイル内で幅が最も広いヘッドを決定し、そのヘッドからの計測値を使用してすべてのヘッドにトラック間隔を設定するための方法としてチェイナー他の出願が記述している技法は、一般に、平均トラック間隔が必要な基準を満たすようにする際に有効である。しかし、自己伝播中のサーボ制御の基準値として使用する理想的な振幅減衰係数の決定に関しては、読み取り素子と書き込み素子が異なる記録用変換器の導入とともに、予見できない問題が発生している。通常の製造工程における誤差から発生するものなど、これら2つの素子間の位置誤差を補償しかつ回転形式のアクチュエータを使用して記録用変換器の位置決めを行う際のディスク・トラックに対する相対的位置合せ

の変化を補償する方法も求められている。

【0018】トラックの形状が円形に近いことが望ましいのはもちろんであるが、ディスク・ファイルのサーボ・アクチュエータは、データ・トラックが書き込み時と同じ軌道上でリードバックされるように、適正な量の偏移に繰り返し追従することになる。したがって、リードバック時の位置合わせではヘッド幅のほんの何分の一に抑える必要があるものの、隣接するトラックが同様に歪んでいる限り、真円性は、アクチュエータの反復動作をおおまかに1ヘッド程度に制限しようという目的で決定したかなり粗い範囲内でのみ維持すればよい。

【0019】隣接するトラック同士はどこでも一定の最小間隔だけ離れていることがディスク・ファイルでは重要な要件であるため、サーボパターンの精度に関して最も重要な点は、トラック・スクイズ (squeeze) と呼ばれる局所的なトラック間隔である。これにより、隣接するトラックの情報がリードバック時に検出される（これが検出されるとデータ読み取りエラーが発生する）ことがなくなり、さらに重要なことには、隣接するトラックのデータが書き込み時に過度にオーバラップすることがなくなる。これが発生すると、ユーザ・データが永久に消失する可能性がある。トラック・スクイズは、ディスク内の各トラックにそれぞれの角度位置で書き込まれた製品サーボパターンによって定義される、隣接するトラック位置間の半径方向の間隔で決定される。つまり、ディスク全体での平均トラック間隔だけでなく、隣接トラックを基準とした各トラックの相対的な詳しい形状も考慮しなければならない。なぜなら、実際のファイル操作時のアクチュエータのサーボ制御では、真円からの歪みに追従することができ、歪んだデータ・トラックを生じることになるからである。サーボ・ループは限界周波数までしか正確に追従しないため、このデータ・トラックはサーボパターンのトラック形状に厳密には一致しないが、単純にそれらを同じものと見なしても十分によい近似が得られる。下記の一般的な説明は、このレベルの詳細度に影響されないが、トラック・スクイズ用に詳細な製品仕様を決定する際にこの効果を採用したいであろう。

【0020】最小許容間隔を設定する際は、実際のファイル操作時の機械的外乱から生じる（サーボパターンによって定義される）所期のトラック位置に関する偶発的な揺らぎの存在を考慮しなければならない。外乱の大きな原因の1つは、回転するディスクからアクチュエータにぶつかる乱流の発生である。TMR (Track Mis-Registration: トラックの位置合わせ誤差) と呼ばれる揺らぎの総量は、サーボパターンの配置に必要な精度を判定するための適切な尺度を定義する。サーボパターンの誤差がTMRにほぼ等しいかそれより大きい場合は、トラック間隔のマージンに近い量が補償として必要になり、ディスク・ファイルの総データ

容量は減少する。しかし、サーボパターンの位置誤差がTMRの約半分より小さくなると、それ以上削減しても総データ容量はさほど改善されない。きわめて低い帯域幅のサーボを使用した場合に生じる偶発的機械動作は、ファイル操作時のTMRより約5倍も大きくなることが観測されている。このようなサーボ・ループを自己伝播時に使用すると、許容できないほど大きな誤差になることは明らかであろう。

【0021】自己伝播パターンは、ディスク面の周に沿って一定間隔で記録される遷移のバーストから構成される。バーストのエッジは、プロセスの次のステップでサーボ・コントローラが追従しようとするトラック形状を定義する1組の点からなる。そのため、バースト書き込み時の変換器位置の誤差は、該アクチュエータが後で外側に移動してバーストのエッジ外でサーボ動作を行う際に、所期の円形のトラック形状からの歪みとして現れる。次のバースト書き込みステップ中にこの非円軌道を検出すると、サーボ・コントローラはそれに追従するためにアクチュエータを移動させる。これによって、直前のステップで存在していた誤差と現在のステップで発生した追加誤差の両方を（サーボ・ループの閉ループ応答によって）反映する位置に新しいバーストが書き込まれることになる。そのため、該プロセスの各追加ステップで、以前に発生したすべてのトラック形状誤差の「記憶」を引きずることになる。この「記憶」は、サーボ・ループの詳細な閉ループ応答に依存する。トラックの形状誤差を発生させる原因には、偶発的機械動作だけでなく、記録媒体の特性または変換器の浮上高さの変動に起因する可能性のある書き込みトラック幅の変化もある。これらの変化による影響は通常、データ・トラック全体の幅に較べると小さいが、トラック間で繰り返される可能性が高く、何度も累積されるときわめて大きなレベルに達する可能性がある。このような誤差を制御せずに増加させると、トラックの真円性が過度に損なわれる可能性がある。場合によっては、誤差の累積が指数関数的に増加する可能性もある。このような場合は、すべての誤差限界を超過し、自己伝播プロセス自体が失敗するであろう。

【0022】クリプス他の出願では、浮上高さの変動から生じる書き込みトラック幅の変化を、自己伝播プロセスに影響を与えるトラック形状誤差の原因として記述している。ディスクを余計に3回転させてサーボ誤差制御信号を平滑化することにより、伝播バーストの各書き込みステップの前にサーボ・アクチュエータの「乱調」および「ディザリング」を減らす手順が概述されている。特に幅の変化はトラック上でのリードバックの変化に比べれば副次的な影響であり、それらのプロセスにおける準備ステップはトラック上での変化が過大なディスク・ファイルをすべて排除することが目的であるので、バースト書き込みのいずれか1つのステップ内で過度の「乱

調」を検出できるほど大きなトラック幅の変化が発生する可能性は小さい。それより、我々の経験と詳細な解析に従えば、特定の幅の変化は通常、トラック幅の数パーセントのレベルでしか発生しないが、誤差の累積によってそれよりずっと大きなレベルに到達する可能性が高い。また、高ゲイン・サーボ・ループの位置誤差信号内で認識できる信号は、その誤差信号自体よりはるかに大きな基礎となるトラック形状誤差の存在を示していることも明らかである。これは、位置誤差信号が、サーボ・ループが追従できなかった基礎的トラック形状誤差の単なる残留部分であることから導かれる。位置誤差信号を平滑化するためにトラック・フォローを続けながら所期の振幅を調整する手順では、基礎的トラック形状誤差を単に隠すだけで、除去しない。下記に、サーボ・ループの詳細な応答が誤差累積の問題の理解に重要であることを示す。上記出願に記述されている目的振幅の調整では、ある種のサーボ・ループを用いて誤差の増加を制限できるかもしれないが、サーボ応答の仕様が示されていないため、この問題は未解決である。平滑化がうまく動作するとしても、プロセスの各ステップでディスクを余計に3回転させる必要があるため、その解決方法は魅力がない。これでは、サーボ書き込み時間が倍になり、コストが増える。

【0023】前記のとおり、自己伝播は、大量の外部位置決め装置を備えた従来のサーボ書き込み装置に比べて偶発的機械動作のレベルが高いという欠点がある。偶発的機械動作は高ゲインのサーボ・ループを使用すれば減らすことができるが、これでは誤差の累積につながる。偶発的機械動作から生じるサーボ書き込み誤差をファイル操作時のTMR誤差未満まで減少させる方法が望まれる。前記のように、サーボパターン誤差がこれより大きいと、データ・トラック間で必要な間隔が増大するため、ディスク・ファイルの容量が減る。ディスク・ファイルの容量の減少をもたらす偶発的機械動作の問題、偶発的機械動作と累積誤差の関係、さらには累積誤差自体についてすら、どの従来技術も教示していない。

#### 【0024】

【発明が解決しようとする課題】本発明の主な目的は、自己サーボ書き込みプロセス内で自己伝播サーボパターンのトラック形状誤差が増加しないようにする方法を提供することにある。

【0025】本発明の他の目的は、サーボ書き込みプロセス時の記録用変換器の機械動作による不可避な偶発誤差の影響を最終製品サーボパターンから有効に取り消し、それによって他のすべてのサーボ書き込み方法よりはるかに正確なトラック形状の定義を得る方法を提供することにある。

【0026】本発明の他の目的は、読み取り素子と書き込み素子を備えた2素子記録用変換器のそれら2素子の位置誤差を補償して所期のトラック間隔を確定し、自己

7 19 伝播プロセス内でそれを維持できるようにするための方法を提供することにある。

【0027】本発明の他の目的は、サーボ書き込み時間をできるだけ短くしてコストを下げることにある。

【0028】

【課題を解決するための手段】本発明の好ましい実施例は、磁気遷移の書き込みと読み取りを行うための関連電子回路、該ヘッドを任意の半径方向位置に位置決めするためのアクチュエータ、および該ディスク上の特定のセクタに対する読み取りと書き込みを制御するためのタイミング回路を備えたディスク・ドライブ、伝播バーストと製品サーボパターン用の書き込みデータを生成するためのパターン発生器、書き込みデータの相対的タイミングを微調整するための時間遅延装置、書き込み済み遷移のリードバック振幅を計測するための振幅検出回路、リードバック振幅の計測値や基準トラック値など各種の量を格納するためのメモリ、対応する元のフルトラック振幅によって瞬間的リードバック振幅を正規化するための除算器、マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ、ならびに迅速なステップ移動と停止が可能であり、それに続いて書き込みプロセス中に機械的外乱を大幅に除去しながらトラック形状誤差の増加を抑えるという特殊な形式の制御が行える可変制御パラメータを有するサーボ・コントローラを備える。ディスク・ファイル・サーボパターンの復調回路は、書き込み済みサーボパターンに適用される偶発誤差取り消し技法と互換性があるので、本実施例の一部となる。

【0029】以前に提案された技法とは対照的に、本発明では半径方向位置決めバーストのステップ移動、停止、および書き込み時に高ゲインのサーボ（応答周波数が回転周波数より大幅に高い）を使用する。これにより、書き込み時にTMRを減らすことができ、停止（settle out）プロセスが高速になる。

【0030】本発明では使用していないが、高帯域幅のサーボ・ループを使用する際は、1組のバーストの書き込み中に発生するトラックの形状誤差が次の1組のバーストの書き込み中にも発生し、それによって誤差がステップごとに累積される点が問題である。ディスクのトラック幅を系統的に変更すると、きわめて悪い形式のトラック形状誤差が発生する。これは、浮上高または記録媒体特性の変動から発生する可能性があり、多数のトラック上で何度も繰り返される可能性がある。理想的なサーボ・ループは該バースト・エッジによく追従し、トラックの形状誤差は伝播されるステップ数に従って線形に増加することになる。そのため、わずかな量の幅の変化も、管理できないレベルにまで増加することになる。トラック間での形状の変化は少ないが、トラック全体での非真円性は最終的に過大になる。サーボ・ループに追従する通常のディスク・ファイルのトラックなど、実際のサーボ・ループでは、位置信号の変化に対する応答（閉

20 ループ応答で与えられる）が一定範囲の周波数全体に渡って1を超える（位相シフトも発生する）。閉ループ応答の大きさが1を超える周波数でのトラックの形状誤差は、後続のトラックで増幅され、トラックの形状誤差が指数関数的に増加する。この指数関数的な増加は、系統的誤差（書き込み幅の変化など）と偶発的誤差（TMRから発生）の両方で発生する。したがって、サーボ閉ループ応答は、ステップ間の増幅係数に対応する。この問題に対して本発明で提供する1つの解決方法では、回転周波数の整数倍に等しい周波数位置で閉ループ応答の大きさを1未満に抑えるサーボ・ループ・パラメータを使用している。このようにサーボ・ループの伝達関数に制限を加えると、誤差（系統的小および偶発的）の増加が有限レベルに抑えられる。この制約のほか、閉ループ応答を調整すると、TMRを大幅に削減し、かなり迅速なステップ移動と停止の性能を得ることができる。ディスク上のトラック形状に誤差が記録されると、誤差はリードバック時に反復周波数の整数倍の位置でのみ、フーリエ成分がゼロでなく反復して発生する可能性のある波形として発生するため、回転周波数の倍数が第一義的に重要である。

【0031】本発明では、書き込みプロセス時に記録した位置誤差信号を使用してサーボ・ループの基準信号を調整することにより、ステップ間の増幅係数を制御するという本概念の拡張と改善も行う。書き込みの際のバースト位置の誤差に関するこの動的位相情報を使用すれば、閉ループ応答自体が1を超えても、ステップ間の実効誤差の増幅係数を減らすことができる。これによって、超高ゲインのサーボ・パラメータを使用して、書き込み時にTMRをきわめて低く抑えることができる。

【0032】また、本発明の別の態様では、書き込みプロセスで記録した位置誤差信号をさらに使用して、最終的な製品サーボパターンに書き込む際の位置誤差の動的修正も行っている。これを行うには、書き込みサーボパターンを制御可能な方法で変更できる特性が書き込みサーボパターンに備わっている必要がある。この技法では、振幅のバーストまたは位相を符号化したサーボパターンにタイミング・シフトを適用して、半径方向の書き込み位置の誤差を取り消している。

40 【0033】伝播サーボ・ループが次のステップでトラック形状誤差（製品サーボパターンにそのイメージが伝達されることになる、つまり1ステップ後に始めて現れる）に追従するのを防止するには、振幅バースト伝播パターンにも同様な修正を加えなければならない。この修正は、書き込み時に検出された位置誤差信号を反映させるためのステップ移動の前に、サーボ・ループが使用する基準振幅値（クリプス他ではターゲット値と呼んでいる）を変更するだけで、振幅バースト伝播パターンに加えることができる。基準振幅を事前に補正することによって書き込み時に既知の位置誤差に合わせて調整を加え

21

ると、サーボ・ループは滑らかな軌道に従うため、誤差を登録しない。これは、クリプス他が記述しているサーボ誤差平滑化による改良に表面的には類似しているが、後述の説明で明らかにするように、形式と機能の両方の点で異なっている。この誤差の取り消しによる利点は、このような方法でサーボ書き込みしたパターンによって、トラック間の偶発的な形状誤差が大幅に減少することである。

【0034】そのため、本発明に従えば、回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、前記ヘッドに前記ディスクへの情報の書き込みと読み取りを行わせるための手段、および前記ディスクから読み取ったサーボ位置情報に従って前記アクチュエータを位置決めするためのサーボ・ループを備えたディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みする方法は、トラックに沿って一連の第1パターンを書き込むステップ、トラックに対する既知の割合だけヘッドを所期の位置まで移動させるステップ、前記の既知の割合に対する前記ヘッドのずれを表す偏差情報を決定するため、前記第1パターンのうちの選択されたパターンから位置情報を読み取るステップ、および前記偏差情報を使用して第2パターン内に前記偏差情報を符号化することによって前記移動先位置に前記第2パターンを伝播するステップを含む。

【0035】また、本発明は、回転ディスク、前記ディスクと相互作用するためのヘッド、および前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めするための手段を備えたディスク・ドライブ内でパターンを伝播するための、下記のステップを含む方法も対象とする。

(a) 第1パターンを第1トラックに書き込むステップ。

(b) 前記第1パターンのうちの選択したパターンの振幅の読み取りと格納を行い、その結果選択した振幅を格納するステップ。

(c) トラック幅に対するある割合だけ前記ヘッドを移動させて、前記の選択した第1パターンに対応する第2パターンを書き込むステップ。

(d) ステップcをn回繰り返して、選択された半径方向位置に前記ヘッドが到達して別のパターンを書き込むまで、前記ヘッドを連続して移動させるステップ。

(e) 選択された前記半径方向位置と前記第1トラックとの中間の位置に前記ヘッドを位置決めするステップ。

(f) 前記ヘッドが前記中間位置にあるときの前記第1パターンの振幅と、選択された前記格納済み振幅の第1の比率を計算するステップ。

(g) 前記ヘッドが前記中間位置にあるときの前記追加パターンの振幅と、選択された前記位置での前記ヘッドの振幅の第2の比率を計算するステップ。

(h) 前記両方の比率が実質上等しくなるまで、前記ヘ

22

ッドの位置決めおよびステップfとgを各位置で繰り返すステップ。

(i) 前記比率を所期の値と比較し、前記所期値からの偏差を決定するステップ。

(j) ステップa～iを後で繰り返す際に前記偏差が最小となるように、連続して書き込むパターン間の間隔を調整するステップ。

この方法は、ヘッドの読み取り素子と書き込み素子が別々の場合に特に有用である。

10 【0036】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の好ましい実施形態の主要な構成素子を示している。記録用変換器22、ボイス・コイル・アクチュエータ24、記録媒体26、サーボパターン復調器27、および読み取り／書き込み制御用電子回路28を備えたディスク・ドライブ20は、パターン発生器30と直列に時間遅延ユニット31に接続されている。パターン発生器30は、正確に制御された時間間隔で磁気遷移のバーストを記録できるタイミング・コントローラ32によって刻時される。半径方向の自己伝播バーストの書き込みと検出のためには、前記タイミング・コントローラは、単に1回転に1回のインデックス・タイミング・マークに同期された米国カリフォルニア州SunnyvaleのAdvanced Micro Devices Corporation製のシステム・タイミング・コントローラAm9513Aのような装置でよいが、実際の製品サーボパターンでは、特にサーボ識別フィールドを書き込む際や位相符号化されたサーボパターンを書き込む際は常に、さらに厳密なタイミング制御が必要になることを了解されたい。このような厳密なタイミング制御をディスク・ファイル記録用内部変換器を使用して自己伝播と整合性のある形で実施する方法は、関連米国特許出願第08/028044号に記述されている。

【0037】ファイル読み取り／書き込み用電子回路28からのリードバック信号は振幅復調器34に供給され、復調器34の出力はマイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ33と同期して動作するタイミング・コントローラ32が決定する時間間隔でADC(AD変換器)36によってデジタル形式に変換される。また、マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ33は、除算器40が使用するデジタル化されたリードバック振幅の格納と検索のために、メモリ38にアクセスする。メモリ38を備えたマイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ33は、デジタル・サーボ・コントローラ44への入力となる位置誤差信号(PES)を作成する際に減算器42が使用する基準テーブル値の格納と検索も行う。マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ33は、格納されている基準テーブル値への変更の決定、タイミング遅延装置31に適用すべき適切な遅延値の決定、およびパターン発生器30の制御信号の生成に使用する汎用計算機能も提供する。ディジタ

ル・サーボ・コントローラ44の出力は、DAC（DA変換器）46によってアナログ形式に変換され、さらにVCMドライバ48によって増幅され電流に変換される。このドライバ電流は、ディスク・ファイル内のボイス・コイル・アクチュエータ24に加えられ、記録用変換器22を記録媒体26のほぼ半径方向に移動させる。ある実施例では、除算器40、減算器42、およびデジタル・サーボ・コントローラ44の機能はすべて、マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ33を適切にプログラミングすることによって実施される。

【0038】図2では、記録媒体26の一部をいくつかの伝播トラック111、112、113、...に分割し、かつ各トラックをいくつかのセクタに分割しており、第1セクタ101はディスク・スピンドル・モータ・ドライブとタイミング・コントローラのどちらかのインデックス・パルスで決定されるディスク回転インデックスの直後に来る。各セクタは、伝播の振幅バーストを含む領域103、および領域104にさらに分割されている。領域104は、正確なタイミング伝播システムで使用するため、およびセクタIDフィールドや振幅のバーストまたは位相符号化されたパターンなどの実際の製品サーボパターンを書き込むために確保されている。本システムの一実施例では、伝播バースト領域103はサーボ書き込みの後でユーザ・データで上書きされる。領域104のうちで製品サーボパターンが格納された部分以外もすべて、ユーザ・データで上書きされる。各伝播バースト領域は、いくつかのスロット105ないし110にさらに分割され、これらのスロット内には伝播用の振幅バースト・パターン（A、B、C、D、E、F）が書き込まれる。この図では、伝播トラックのピッチが、割り当て済みデータ・トラック幅の1/4として示されている。たとえば、第1のユーザ・データ・トラックが伝播トラック112の中央に来るように選択すると、第2データ・トラックは伝播トラック116の中央になり、以下ディスク全体で同様である。伝播トラックのピッチとデータ・トラックのピッチの他の比率も使用できるが、ここに示した4:1の比率を使用すると、グレー・コード・ビットと位相符号化製品サーボパターンのタイミングの微調整が可能になる。データ・トラックのピッチには通常、隣接するデータ・トラックのエッジ同士がオーバーラップしないように、変換器の書き込み幅より少し大きな値が選択される。これは、図2でバーストBとFの半径方向の相対位置に注意すればわかる。なぜなら、これらは伝播トラック112と116のそれぞれ中央にある上記で選択したデータ・トラックに対応しているからである。

【0039】図の伝播バースト・パターンは、繰り返される6つのバーストのシーケンスから構成されている。これは、各スロット内のバーストが半径方向でオーバーラップせず、そのため記録用変換器が直前に書き込まれた

バーストをバックアップして読み取ることができるため有用である。このようなプロセスを使用すれば、ディスク面全体に渡って伝播を完全に行わなくても、記録用変換器の幅に対する伝播トラックの間隔をチェックできる。これについては、後で詳しく説明する。このようなチェックを行わない場合に伝播に必要な最小スロット数は、2である。

【0040】通常のセクタ数120、通常のディスク回転速度5400rpmで算出すると、1セクタ当たり92マイクロ秒になる。スロット時間は通常、7マイクロ秒である。これは、製品サーボパターン（1マイクロ秒）で使用される通常の振幅バースト期間より長い。伝播バーストを拡張してもそれらは後で上書きされるため、ユーザ・データ空間にロスはない。バーストを長くした際の利点は、復調中のフィルタリング時間を長くできることであり、これにより特に導関数または速度に関連したサーボ項を決定する際に信号対雑音比を大きくでき、その結果デジタル・サーボ・ループの計算の一部が簡単になる。領域104内でタイミング・マークおよび製品サーボパターンの書き込みにもっと時間が必要な場合は、バースト時間を短くすることができる。

【0041】図3の流れ図を見ると、繰り返して実行される自己伝播プロセスの開始ステップ130では、ディスク・ファイルのアクセス可能な最も外側のトラック（OD）またはアクセス可能な最も内側のトラック（ID）に記録用変換器があり、アクチュエータは機械的外乱に備えてロックされるよう物理的ストップに圧着されている。ステップ132では、第1の伝播トラック111

（図2）の各伝播バースト領域の第1スロット内にバーストAが書き込まれる。また、製品サーボパターンの第1部分が、正確なタイミング・マークと一緒に各セクタの領域104内に書き込まれる。たとえば、この両者は伝播バースト・パターンと同じ面上にある領域104の先頭の小さな部分しか占有せず、ディスクの同じ回転中に書き込まれる。さらに、書き込み電子回路を切り換えて各記録用変換器を交互に選択すれば、ディスク・スタックの他の記録面で、それらの製品サーボパターンを領域104全体に渡って連続的に書き込むことができる

（通常は、各記録面にその面専用の記録用変換器が1つあり、それら記録用変換器はすべて1つのアクチュエータと一緒に移動する）。プロセス中のこの最初の回転を、書き込み回転と呼ぶ。

【0042】図3のステップ134に示した正規化回転と呼ばれるディスクの次の回転では、マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ33がADC36に信号を送り、各セクタの第1スロット内で復調リードバック振幅のサンプリングとデジタル化を行い、それらの値をメモリ38内のバーストA正規化テーブル内に記録する。

【0043】正規化回転で全セクタを読み取ってから次

の回転の第1伝播バースト領域103にいたるまで、サーボ制御電圧計算に使用するパラメータは、ステップ・パラメータと呼ばれる所定の値に等しく設定される。このパラメータは、高速の移動と停止、つまり高ゲインと高帯域幅を提供する。これは、図3のステップ136に示してある。たとえば、該ディスク・ファイルの操作で使用するのと同様なサーボ・パラメータが、ステップ・パラメータとしてもうまく働くことになる。

【0044】ステップ138に示したステップ回転と呼ばれるディスクの次の回転では、格納されている正規化テーブルをマイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ33がセクタごとに走査して、各値を除算器40に送る。メモリ内の基準トラック・テーブルには、各セクタの所期の振幅減衰係数に対応した初期基準レベルが事前に記録されている。これらの初期基準レベルは通常、すべて等しい。同様に、基準トラック・テーブル値も、減算器42に送られる。ADC36は、各セクタのバーストAをデジタル化し続ける。記録用変換器22が各伝播バースト領域103の末尾に到達すると、当該セクタの基準トラック・テーブル・エントリから、直前のバーストAの振幅を格納済み正規化テーブル値で割った値を引いた値が減算器42から出力される。これが、位置誤差信号、つまりPESである。この時点で、マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ33はデジタル・サーボ・コントローラ44に信号を送り、このPESを読み取って新しい制御電圧値を計算するよう指示する。この制御電圧は、PESが少なくなる方向、つまり伝播トラック112に近付く方向にアクチュエータ24を移動させるように各セクタ後にデジタル・サーボ・コントローラによって調整される。

【0045】アクチュエータ24が伝播トラック112の所期の位置（通常は、ディスク回転の1/4内側）に停止すると、サーボ制御電圧計算のパラメータは、伝播パラメータと呼ばれる別の特別な1組の所定の値に変更される。このパラメータは、トラック形状誤差を増幅させることなく機械的外乱を除去するように調整される。これらの値を決定する方法を下記に示す。次の伝播トラックに移動するためのステップに1回転からなくても、次の1組のバーストを書き込む前に1回転させた方が問題が簡単になる。一実施例では、サーボ・パラメータのこの変更を徐々に行って、ステップ回転の末尾で初めて伝播パラメータに到達するようにしている。図3では、サーボに伝播パラメータを持たせるよう設定するこのプロセスを、ステップ回転138の後のステップ140で示している。

【0046】この時点では、1つの伝播トラックしか書き込みが完了していないため、伝播トラック数を製品サーボパターンの完成を示す所定の所期の数と比較する判定ステップ142の結果は必ず負の値となり、プロセスは書き込み回転132に戻る。この2回目の書き込み回

転132では、マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ33がパターン発生器30に信号を送り、遷移バーストBを各セクタの第2スロットに書き込む。前回と同様に、同じ記録面上の領域104には正確なタイミング・マークと製品サーボパターンの両方が書き込まれ、残りの記録面には製品サーボパターンだけが書き込まれる。この書き込み回転全体を通して、ADC36はバーストAをデジタル化し続け、デジタル・サーボ・コントローラ44は、変換器22がトラック112の所期の位置に近くなるような位置にアクチュエータ24を維持する。読み取られた各PESは、製品サーボパターンをディスクの隣接する領域104に書き込んでい

間に変更する方式で、タイミング遅延装置31を調整するのに使用される。この変更の詳細は、後述する。また、書き込み回転時のPES値は、後で新しい基準トラックの計算に使用できるように、メモリ38内のテーブルに格納される。一実施例では、PES値が1セクタずつ送られるたびに、そのPES値に対してデジタル・フィルタリングの計算が実行されるので、書き込み回転が完了するまでにフィルタリング用の係数値がすべて計算される。

【0047】次の回転はステップ134の正規化回転であり、ここではADC36がバーストAとBの振幅を両方ともデジタル化し、バーストBの振幅をバーストB正規化テーブルに格納する。一方、サーボ・ループは、バーストAの振幅、バーストA正規化テーブルの値、および格納済み基準トラック値から計算したPES値を使用して、トラック・フォロワーを続ける。また、新しい基準トラック・テーブルもこの回転中に計算される。基準トラック・テーブルの新しい各値はそれぞれ、ディスクのこの領域内の所期の平均トラック間隔に合わせて適切に決定された公称平均基準レベルに補正値を加えた値に設定される。一実施例では、直前の書き込み回転中に得られた対応するセクタの記録済みPES値に対する所定の割合f（基準補正係数と呼ばれる）がこの補正値となる。また、直前の書き込み回転から得られた1組の記録済みPES値の全体に適用されるデジタル・フィルタリング・アルゴリズムを使ってこの補正値を計算することもできる。このフィルタリング計算の一部を書き込み回転時に行えば、基準テーブルの各値について残りの計算をセクタ間で使用可能な時間内で簡単に実行できる。このアルゴリズムの詳細は、後述する。基準トラック・テーブルの各値は、制御電圧の計算に使用した直後に交換するのが好都合である。このように、正規化回転中にサーボ基準トラック・テーブルを直前の値で使用する

が、最後には次のステップ回転で使用できる新しい値が格納された状態になる。

【0048】PES計算のためバーストBに切り替えてこのプロセスが繰り返され、ステップ138で記録用変換器22が次の伝播トラックに移動する。その後でステ

ップ132の書き込み回転に進み、バーストC、タイミング・マーク、および製品サーボパターンが書き込まれる。そして、その後の正規化回転のステップ134では、バーストCがリードバックされ、正規化テーブルに格納される。このプロセス（バーストFの後はバーストA）は、所期のデータ・トラック数に到達したことが142の判定ステップで「イエス」の答によって判定され、ステップ144でプロセスが終了するまで、繰り返される。

【0049】本システムでは、理想的な伝播トラックからアクチュエータをずらせる外乱（TMR）により、書き込みバーストの位置がずれる。このようなバーストを次の伝播トラック位置で引き続きリードバックすると、位置信号が変化する。図5にはこのプロセスを示し、所期の伝播トラックを基準として、適正位置のバーストと不正位置のバーストを相対的に示している。直前の伝播トラックから距離X離れた所期の伝播トラック上の中央にあるとき、記録用変換器は適正位置のバーストに対して相対振幅Rをリードバックする。これが所期の位置であるため、この相対振幅は基準トラック値に等しくなり、その結果PESはゼロになる。不正位置のバーストは、変換器の幅を基準として量Eだけそのエッジが所期の伝播トラック位置からずれているため、相対リードバック信号は $R + E$ に等しくなる。Eはバースト・エッジの位置によって決まるため、書き込み済みバーストの幅の変化は、別の誤差の原因になりTMRに類似した影響を生み出す。

【0050】図6は、たとえばPrentiss-Hall Corporation（米国ニュージャージー州Englewood Cliffs）出版、K.オガタ（Ogata）著「Modern Control Engineering」に記述されているサーボ・エンジニアリング技術で一般に知られているサーボ・ループの標準的な構成素子を形成するために、本発明の各素子をどう組み合わせるかを示したブロック図である。用語は、この書物で定義されている。ループ・コントローラ150は、デジタル・サーボ・コントローラ44、DAC46、およびVCMドライバ48から構成されている。「プラント」152は、アクチュエータ24と記録用変換器22を備えるものと定義されている。このプラントの出力Xは、相対的なヘッド幅単位で記録用変換器の絶対位置を表す。自己伝播において観測可能な信号は記録媒体26を基準とした記録用変換器22の相対位置だけであるが、サーボ・ループの性能を分析する場合は絶対位置Xを考える方が便利である。ループ加算点156は、観測対象の位置信号の相対的な性質を明らかにするため、明示的に示してある。したがって、観測される位置信号は、絶対位置Xと、バースト位置誤差Eの和に等しい。この信号 $X + E$ は、標準ループ基準加算点154において基準トラック値Rと結合され、位置誤差信号（PES）となる。通常通り、ループ加算点で入り矢印のとなりに示してあ

る符号は加算前に各信号に適用される符号因子を示すので、PESは $R - (X + E)$ に等しくなる。

【0051】書き込み済みバーストの位置誤差の正味の効果として、サーボ・ループが追従しようとする軌道が真円でなくなり、したがってこの誤差は別の基準信号として作用する。この軌道に対する応答は、閉ループ応答で与えられる。通常は、サーボ・ループの閉ループ応答が1にちょうど等しい（この場合は、コントローラのゲインが無限大に近づく）ことが望ましい。このようなシステムは、所期の軌道にぴったり追従する出力を生成し、外乱に対する強度が無限になる。実際は、有限のコントローラ・ゲインしか使用できず、不可避免的な位相シフト（正帰還）から発生するループの不安定化を避けるためにこのゲインは周波数依存性でなければならない。ディスク・ファイルのアクチュエータのサーボなど、サーボ・ループの通常の実用例においては、サンプリング率が有限という制約の範囲内で機械的外乱を最適に排除することが性能上の主眼であり、最終的な閉ループ応答はかなり広範囲の周波数に対して1より大幅に大きくなる（1.5またはそれ以上）。このためディスク・ファイルの操作において、飛躍的によい結果は得られない。しかし、現状では、特定の伝播トラックでの非真円軌道に対する応答が、次の伝播トラックを書き込む際に複製され、その応答がその次の伝播トラックでもまた複製される。閉ループ応答はステップごとの誤差増幅係数に対応しているため、ある伝播トラックでの誤差は、N伝播トラック後には閉ループ応答のN乗倍になる。そのため、閉ループ応答の大きさが1を超えると、誤差はすべて無限に増加する。閉ループ応答が1未満であっても誤差は累積するが、ある1つのステップにおける1つの誤差の影響は実質的には消滅する。そのため、この誤差の累積は、実質的には有限のステップ数nに制限される。おおまかに言えば、nは、1を、1と閉ループ応答の差で割った値になる。たとえば、閉ループ応答が0.99の場合は、 $n = 100$ となる。そのため、書き込み済みトラック幅の変化などの系統的誤差は、ほぼn倍に増加する。トラック間の誤差はまだきわめて小さいため、トラックの真円性に関してはもっと緩い制限だけを考慮すればよい。書き込み済みトラック幅の変化は数パーセントの影響しかないため、大まかに1トラック間隔という真円性の絶対制限度を超えず、大幅な増加が許容できる。

【0052】時系列波形として見ると、書き込み済みバーストの位置誤差の軌道は、反復周波数がディスクの回転周波数に等しい、完全な反復関数である。フーリエ解析の原理によれば、このようなすべての反復波形は、反復周波数の整数倍に対応する周波数からなる離散集合でのみ非ゼロの振幅を含む周波数スペクトルを有し、この場合はディスクの回転周波数がそれに当たる。そのため、閉ループ応答を1未満に保つべき有効な周波数はす

べて、ディスクの回転周波数の整数倍になる。周波数に依存する量としての閉ループ応答Cは、実際には、大きさと位相の両方を有する複素数のベクトルであり、このベクトルの各成分がディスクの回転周波数のある倍数に対応している。1未満でなければならないのは、このベクトルの各成分の大きさである。

【0053】書き込み時に閉ループ応答が1未満になるようにサーボ・ループ・パラメータを選択するのが、誤差の増加を抑えながら偶発機械動作を大幅に減らす簡単な方法である。ステップ134の正規化回転時に計算した基準トラック・テーブルの補正值を使用すれば、状況が変わる。前記の1つの実施例では、基準トラック・テーブルの新しい値がそれぞれ、書き込み回転時に得られた対応セクタの記録済みPES値のfという所定の割合を公称平均基準レベルに加えた値に設定される。この場合、ステップ間の誤差増幅係数（または単にステップ係数）Sは、閉ループ応答Cに等しくなくなり、f（1-C）に等しい別の項を含むようになる。そのため、ディスクの回転周波数の整数倍のすべての位置で1未満の大きさにしなければならないのは、これらを組み合わせた $S = C + f(1 - C)$ である。したがって、これらを組み合わせた $S = C + f(1 - C)$ が、ディスクの回転周波数の整数倍のすべての位置で1未満の大きさになければならない。

【0054】この特定の実施例では、書き込み回転時に記録されたPES値の割合fを用い、基準テーブルの1組の補正值を計算する。時系列波形としてPESの読み取り値を直接利用しているため、これは比較的単純である。上記の式中でSはCと同様に複素数値を成分として有するベクトルであるが、係数fは周波数に依存せず、位相シフトを含まないため、単一の実数値からなる項である。そのため、Cの成分がすべて1より大きいとか、すべて1より小さいという特殊な場合を除き、ベクトルSの各成分の大きさが1未満になるようなfを見つけることは不可能である。したがって、基準テーブルの修正のための時間領域手法は、特定の状況下では有用であり簡単であるが、Cの大きさが、すべての周波数ではないにしる一部の周波数で1を超えるような状況で、誤差の増加の抑止と高ゲイン・サーボ性能を一般的に保証することはできない。

【0055】図4で示すような、この一般的な方法を提供する別の実施例では、書き込み回転時に記録されたPES値のベクトルを、反復する時系列波形として処理し、ディジタルにフィルタリングして基準テーブルの補正值を生成する。これは係数fの一般化であり、その結果、係数fは複素数値を成分に有するベクトルになる。ディジタル・フィルタリングに使用可能なアルゴリズムはたくさんあるが、必要なすべての周波数（つまり、ディスクの回転周波数の倍数）でfを全体的に柔軟に選択できるアルゴリズムを示してある。第1のステップ16

0では、PES値の波形の離散的フーリエ変換の係数を計算する。次のステップ162では、各係数に複素数値のスケール・ファクタ（fを構成する集合）を掛ける。次のステップ164では、スケール・ファクタを掛けた係数を使用して逆変換を実行し、フィルタリングした時系列波形を生成する。最後にステップ166では、このフィルタリングされた波形を公称平均基準レベルに加えて、新しい基準トラック・テーブル値を計算する。離散的フーリエ変換とそれに関連する式については、CRC Press（米国フロリダ州Boca Raton）出版の「The Electrical Engineering Handbook」を参照のこと。

【0056】高速フーリエ変換のような高速で効率のよい計算アルゴリズムを使用して必要な計算を実行することもできるが、実際には、ディスクの回転周波数のたぶん最初の6〜8倍に対応した、限られた数の周波数係数だけしか普通は必要でないことがわかっている。誤差の増加を確実に抑止するには、閉ループ応答の大きさが1を超える周波数だけを考慮すればよい。他の周波数では係数fをゼロにすることができ、これはフーリエ級数変換を単に切り捨てることになる。

【0057】フーリエ級数の係数の計算では、PES値に正弦表の値と余弦表の値を掛けた値の和をとる。Intel 486 DX-66のような標準のマикроプロセッサを使用すれば、周波数成分6個の計算は、PESのベクトルの1成分当たり約12マイクロ秒しかかからないため、前述の書き込み回転自体の最中にセクタ間で使用可能な時間の範囲内で容易に実行できる。もう16マイクロ秒で、該係数を係数fでスケールでき、これは書き込み回転の終りに行える。また、逆変換の計算にも1成分当たり約12マイクロ秒かかるが、これは前述の正規化回転時にセクタ間で実行できる。

【0058】前記のフィルタリング技法を使用すると、Sの成分を特定の値に設定できる。閉ループ応答をサーボ・パラメータで調整すると、所期のレベルで機械的外乱を排除でき、fの適切な値は式 $f = (S - C) / (1 - C)$ で計算できる。ベクトルSの全成分の大きさを1未満に維持すると誤差の無制限の増加が抑止でき、これが最も重要なことである。書き込み幅の変化など、系統的誤差の増加を検討する場合、トラック形状の誤差は、基本書き込み幅の変化量に $(1 + C - S) / (1 - S)$ を掛けた値に等しい位置で平準化される。基本書き込み幅の変化とは、各書き込みステップで発生するトラック幅の変化量である。そのため、Sが1に近いと、正味トラック形状誤差は非常に大きくなる。逆に、ほとんどゼロに近い値をステップ係数として選択した場合は、特にCが1に近いと、偶発的機械動作の累積効果が大きくなる。このようになる原因は、Cが1に近いと、係数f自体が非常に大きくなるためである。今までに調査したディスク・ファイルでは、よい結果を与えるSは0.9である。これは、トラックの絶対的な真円性を維持するよ



り、偶発誤差を小さく抑える方が重要であることを反映している。ディスク・ファイルのヘッド、記録媒体、および機械特性の詳細にもよるが、複素数値など、ステップ係数Sに他のものを採用すれば、最適な結果が得られる可能性がある。

【0059】今まで述べてきたように、基準トラック・テーブルの新しい値の計算に使用する補正項では、書き込み回転時に記録したPESの波形だけを使用している。以前のPES波形を累積したものや正規化回転のPES波形など、ステップ移動の前に使用可能な他の情報を使用することもできるであろう。正味トラック形状誤差および偶発トラック間誤差に関する性能の改善は、これらの追加項を使用したもっと複雑なアルゴリズムで実現できるかもしれない。本発明の本質的な特徴は、新しいトラック位置にステップ移動する前に使用可能なデータに基づいて、基準トラック・テーブル値を補正する点である。

【0060】ディスクの回転周波数以上のすべての周波数で $CL < 1$ であると、特殊な状況になる。サーボ・ループの図6では、 $PES = R - (X + E)$ である。このループによるプラント動作Xは、 $(R - E) (CL / (1 + CL))$ で与えられ、これは $CL < 1$ の場合はほぼゼロになり、PESは $R - E$ 、つまりトラックの形状誤差になる。実際には、サーボ・ループによる排除率が非常に低いために発生するようになった機械的外乱によりPESに偶発雑音加わるので、PESは、ディスクの複数の回転に渡って平均化する必要がある。しかし、Eを計測すると、当該の基準を更新でき、トラック誤差を除去できる。

【0061】サーボ書き込みに数千ステップも必要とする普通のディスク・ファイルでは、誤差の増加の抑制が重要である。本発明の重要な特徴は、反復される自己伝播プロセスにこれら特別の性質のサーボ・ループが適用されることがこの現象の原因であると認識し、サーボ・ループ・パラメータの調整において、書き込み回転時に記録されたPESをディジタル・フィルタリングすると同時に所期の閉ループ応答を生成して、妥当なあらゆる周波数でステップ係数が1を超えないよう基準トラック・テーブル値に対する補正值を計算するための明確な正策を示すことである。本発明の有用性は、機械的外乱の非常に大幅な排除がこの制約内で達成でき、ディスクを余計に複数回転させて信号を平均化するという余分な処理時間が不要であることから生じている。さらに重要なことには、本発明は安定した自己伝播が保証される動作方式を明確に示し、それによって堅牢なサーボ書き込みプロセスを保証する。

【0062】図7の流れ図に示す別の実施例では、本発明の原理に従って、製品サーボパターンの書き込みと任意選択でタイミング・マークの書き込みを、前述した図3の書き込み回転ではなく正規化回転の最中に行うよう

に変更することができる。図7の多くのプロセス・ステップは、図3のものと同じであり、同じ記号を付けてある。このようにタイミング・マークと製品サーボパターンの書き込みを変更済みの正規化回転134A中に行うように変更すると、変更済みの書き込み回転132Aでは伝播バーストの書き込みからこの操作が削除される。誤差の累積という問題を解決する際、サーボ・ループ用の特殊な伝播パラメータは伝播バーストを書き込むときしか必要でないため、このように操作を分離すれば、製品サーボパターンとタイミング・マークの書き込み時に使用するゲインを大きくすることができる。特にこれらのパラメータにより閉ループ応答を、ディスクの回転周波数の整数倍など一定範囲の周波数に渡って、1より大幅に大きくすることができる。これは、新しいプロセス・ステップ133で実施する。ステップ133では、小さなTMRを提供するように調整された所定の特別な値にサーボ・パラメータが設定される。これらのパラメータは、実際のディスク・ファイル操作のためにサーボをセットアップする際と同様にして決定されることになる。つまり、前記の周波数に依存した位相シフトと有限のサンプリング率によるループの不安定さが防止されるだけでなく、ゲインと帯域幅も可能な範囲で大きくできる。電気回路設計システムおよびサーボ制御システムの分野の当業者なら認識しているはずの多数の素子を使用すれば、プロセス・ステップ134Aで、TMRを実際のファイル操作で可能な値より大幅に小さくできるはずである。これらの素子には、期間が比較的長いサーボ・バーストを使用することによる信号対雑音比の改善、製品ディスク・ファイルの外部装置として設計されるサーボ書き込み装置内のADC36、DAC46、VCMドライバ48などより高価な電子回路素子の使用などがある。これらの操作中にTMRを減少させると、トラック間の偶発誤差が減り、タイミング・マークからのリードバック信号の振幅の偶発振動の量も減る。後者の効果により、自己サーボ書き込みシステムの高精度なタイミング発生システムでの誤差の発生が減少する。

【0063】図7には、任意選択の回転ステップ135を追加してあるが、このステップにより製品サーボパターンの書き込みに使用できる時間が増える。これにはサーボ書き込み時間が増えるという欠点があるが、ディスク・ファイル内にディスク面が多数存在し、タイミング・マークと製品サーボパターン専用の領域104が短かすぎて製品サーボパターンをすべての面上には書き込めない場合には必要である。前述のように、より小さなTMRを利用するには、この余分な回転の最中により大きなサーボ・ゲインを使用する方が有利である。製品サーボパターンの書き込みとタイミング・マークの書き込みの分離は、その操作を正規化手順と組み合わせるのではなく、そのプロセス専用の余分な回転を追加することによっても実現できる。ディジタルにフィルタリングされ

たPESの補正項をサーボ基準に組み込むという実施例では、TMRを常に減らすことができる。これにより、製品サーボパターンの書き込み操作を半径方向の伝播バーストの書き込み操作から分離しようという動機が一部そがれることになるが、記載した別の実施例が潜在的に望ましい方法として残る。

#### 【0064】サーボ・ループの計測

ある特定の実施例では、タイミング制御回路、ADC、およびDACを備える市販のデータ収集用プラグイン・ボードとパーソナル・コンピュータを併用して、PID（比例、積分、微分）タイプのサーボ・ループを実施した。振幅復調器、VCM電流ドライバ、およびゲート機能付き発振器とともに、当該システムをIBM Spiffireディスク・ドライブに接続し、各種のサーボ・ループ・パラメータを使用して、前述の6バースト伝播シーケンス（高精度タイミング・マーク発生プロセスと、別のコンピュータで制御した位相符号化サーボ・パターン発生器も含む）を実行した。このようなシステムは電気コネクタを介してディスク・ファイルに接続される外部サーボ書き込みシステムとしての使用に適しているが、その回路をほんの数個のIC回路に削減し、すべてのディスク・ファイルに搭載して、完全に独立した自己サーボ書き込みが行えるようにすることも考えられる。

【0065】このサーボ・ループでは、制御電圧が、1) 比例ゲイン係数とPESの積と、2) 以前のすべてのPES読み取り値の合計と積分ゲイン係数の積と、3) 現PESと直前のセクタのPESの差に微分ゲイン係数を掛けた値との和に等しい。これら3つのゲイン係数は、サーボ閉ループ応答（ある周波数での位置信号応答と基準レベルの変更量の比率）の調整を可能にするサーボ・パラメータである。どのような周波数での閉ループ応答も、同じ周波数で位置信号応答を計測しながらその周波数での既知の基準レベルの変更を適用すれば決定できる。デジタル・サーボ・コントローラとして機能するコンピュータは、リアルタイムの位置信号にアクセスし、正弦波的に変更された基準テーブル値の代りに使用できるため、これは余分な回路なしで実現できる。所定の基準テーブルの変更を適用しながら得られた位置信号の一連の読み取り値をフーリエ変換すれば、応答の大きさと位相が決定できる。サーボ・パラメータを様々に組み合わせてこのプロセスを通常のディスク・ファイルで実行すれば、ディスクの回転周波数のすべての倍数位置で閉ループ応答が1未満になるという必要な特性を提供するパラメータを見つけることができる。PIDコントローラでは、大きくない積分ゲインと小さな比例ゲインとともに比較的大きな積分ゲインを使用すれば、この特性が満たされる。回転周波数の倍数を実際にすべてチェックする必要はなく、応答曲線の頂部付近にあるものだけをチェックすればよい。通常は、回転周波数の5倍

までの周波数だけで十分である。また、サーボ・パラメータ値を比較的大きく変化させても、閉ループ応答は緩やかにしか変化しないため、低TMRと1未満の閉ループ応答の両方を満たす適切なパラメータは広い範囲に存在する。これにより、適切なパラメータの検出がかなり簡単になり、サーボ・ゲインを有効に変更できるヘッド幅などのパラメータのファイル間の変動に余裕ができる。

【0066】また、標準的なサーボ・ループ解析方法を使用して、コントローラのゲインとアクチュエータの動力学モデルから閉ループ応答を計算できる。この試験システムでは、計算結果は、前述の方法で計測した応答データによく一致している。本システムの別々のテストで使用した2組の異なる伝播パラメータについて計算した伝達関数を、図8と図9に示す。ディスク回転周波数の倍数の最初のいくつかを、ドットで示してある。図8では、比例ゲイン項と積分ゲイン項は非常に小さく、微分項（粘性制動のように働く）は非常に大きいものの、閉ループの伝達関数が1を超えるほどには大きくない。このサーボ・ループは、実際の製品サーボ・ループより約20%大きなTMRでしか動作しない。このシステムでは、トラックの形状誤差をさほど（ピーク間が50マイクロインチ未満）増加させなくても16000ステップを超える半径方向の伝播が実現でき、トラック間の形状の差は1RMS当たり約5マイクロインチしかない。図8に示したパラメータを使用すれば、TMRは製品サーボ・ループの場合より約20%減少するが、閉ループ応答はディスク回転周波数の2倍と3倍の地点で1を超えており、トラックの形状誤差の増加のために約70ステップを超えるとうまく伝播できなくなる。

【0067】この誤差の増加を図示した図11の同心円状の図は、図9の伝播パラメータを使用して最初の60伝播ステップのトラック形状を測定したものである。このトラックの形状は、各伝播トラックに対して、伝播シーケンス後にバックアップし、アクチュエータを平均トラック位置に維持（サーボ・ループの弱い積分ゲイン項だけを使用）して計測した。そして、120セクタの各セクタでの正規化されたリードバック振幅をディスク100回転で平均化し、TMR効果を除去した。得られた波形は、円形のトラックの半径方向偏差としてプロットした。トラックの形状誤差をわかりやすくするために、10倍に拡大してある。つまり、半径方向偏差を、該当するトラック間隔の10倍に拡大してプロットしてある。また、円は、実際のディスクより半径方向の見かけ上の距離を大きくしてある。60ステップは、ディスクの半径の約0.4%にしかならないためである。図10の同様な図にも、図8の伝播パラメータを使用して、最初の60伝播トラックを示してある。こちらの方は、トラックの形状誤差が基本的にランダムであり、増加は見られない。

【0068】図10と図11にプロットしたデータは、各トラック上にある120セクタ分のリードバック信号の波形をフーリエ変換して得られた、周波数180Hzの成分(2×ディスク回転周波数)の大きさである。図11(180Hzでの閉ループ応答の大きさが1.029)では、この成分が急激に増加しており、わずか60ステップの間に約3マイクロインチから約16マイクロインチに増加している。図10のパラメータの場合は、増加が予想されず、実際にも観測されていない。

【0069】各書き込み回転の最中に記録されたPESをデジタルにフィルタリングして基準トラックの補正を計算するという実施例についても、テストを行った。サーボ比例ゲインを400(図9と同様に、積分ゲインと微分ゲインはそれぞれ0.39と4000)に設定すると、ディスク回転周波数の倍数の最初の5カ所で、閉ループ応答が1を超え、ピーク値は1.31であった。ディスク回転周波数の8番目の倍数までフィルタリング計算を使用し、それら8つの周波数すべてでステップ係数が $S=0.9$ となるよう係数 $f$ を計算すると、大幅な誤差の増加なし(ピーク間でせいぜい約50マイクロインチ)に16000ステップの伝播を実行できる。PESをフィルタリングして基準トラックを補正しないと、これらのサーボ・ゲインは指数関数的な誤差の増加により、ほんの数ステップを超えても伝播できないであろう。ゲインを大きくすればTMRが通常のファイルのTMRの約50%まで減少し、その結果、サーボパターン内でのトラック間の偶発誤差が大幅に改善される。

【0070】読み取り素子と書き込み素子が物理的に別々な場合

今までの説明では、記録用の読み取り変換器と書き込み変換器が、一般に使用されている通常の誘導型読み取り／書き込み素子と同様に、同一のものであることを前提としていた。最近、いわゆるMR(磁気抵抗)変換器のように、読み取り素子と書き込み素子が別々になっている変換器が使用されるようになっており、公称平均基準値の設定項目による伝播トラック間隔の決定と制御に関して特に注目する必要がある。図12は読み取り素子および書き込み素子の中心線と直角方向でこれら2つの素子の幅が異なる、このような変換器を示す。図13には、正規化されたリードバック振幅がアクチュエータの位置によってどのように変化するかを示してある。ここで、ゼロは、書き込み時のアクチュエータの位置に対応している。特定のレベルの振幅の減少に到達するのに必要なアクチュエータの動作は、読み取り幅、書き込み幅、およびオフセット(と必要な動作方向)に依存している。伝播トラックの間隔が、読み取り幅と書き込み幅でのみ決まり、それら素子間のオフセットに影響されないことが望ましい。ディスク・ファイルの一番外側から一番内側のトラックに回転アクチュエータが移動する際に、見かけ上のオフセットは変化するので、このことは

特に重要である(アクチュエータのアームの方向に沿って読み取り素子と書き込み素子を空間的に分離すると、アームが回転する際に、これら素子の所期の位置がディスク・トラック上で異なることになる)。本発明の重要な態様は、ヘッドの厳密な寸法を事前に知らなくても、リードバック振幅を計測するだけで、読み取り素子と書き込み素子のオフセットに対する依存性を除去する方法を採用していることである。

【0071】図14は、6バースト伝播パターンを示す図であり、伝播バースト領域の1つにおける書き込みバーストの相対位置を示している。ディスク・ファイルのデータ・トラックの間隔については、平均的に、あるトラック上のデータが隣のトラック上にあると想定されるヘッドによって上書きされないだけ離れていることが重要である。たとえば、データ・トラック同士が4伝播トラック離れており、書き込みトラックのエッジ間の平均間隔はデータ・トラックの間隔の25%であることが望ましい。この状況を示したのが図14であり、ここでは伝播バーストAとEに対応する位置にユーザ・データ・トラックが割り当てられている。この場合、AとDのように3ステップ離れた伝播バーストでは、エッジ同士が同一直線上になる。バーストAからの相対振幅がバーストDからの相対振幅に等しくなるような位置( $A=D$ となる位置)に読み取り素子が配置された場合、相対信号は、両方のエッジが同一直線上にあると0.50、エッジ同士がオーバーラップすると0.5を超え、エッジ間に間隔があると0.5未満になる。そのため、 $A=D$ となる位置での相対振幅が伝播トラック間隔の過小または過大を示す指標となり、これを使用して伝播時に使用される公称平均基準レベルを調整すれば、ピッチを修正することができる。

【0072】リードバック振幅が位置に応じて線形に変化する(かなりよい近似の)場合、正確な間隔を得るのに必要な伝播用の公称平均基準レベルの調整は、 $A=D$ となる位置での相対振幅を計測すれば計算できる。これは、基準レベルが $r$ だけ変化すると、 $A=D$ となる位置での相対振幅が $3r/2$ だけ変化することに注意すればわかる。なぜなら、3ステップそれぞれのステップ間隔の変化が $r$ に等しくなり、その変化量がAとDで二分されるからである。そのため、公称平均基準レベルを、 $A=D$ となる位置での相対振幅の偏差の $2/3$ に等しい量だけ、所期のレベルから調整する必要がある。

【0073】本発明の方法は、下記のステップから構成される。まず、初期公称平均基準値を選択し、複数のステップ(この場合は、3ステップ以上)を伝播する。次に、バーストAとバーストDの相対振幅が等しくなるような位置まで戻る。これは、PESを、バーストAとバーストDの相対振幅の差になるように一時的に再定義することによって行う。A( $A=D$ なのでDを使用してもかまわない)の相対振幅を使用して、前述のような伝播

公称平均基準レベルに対する補正值を計算し、伝播を続行する。

【0074】読み取り素子と書き込み素子の間の特定のオフセットを反映する基準レベルを最初に設定するためには、最初の位相（ユーザ・データに割り当てられない領域）でこのプロセスを数回反復することが望ましい。アクチュエータの回転によるオフセットの変化は、このプロセスを一定間隔で反復すれば補償される。前記のシステムを使用して行った実験では、このプロセスを40伝播ステップごとに反復することにより、よい結果が得られた。このプロセスは実際には、 $A=D$ 、 $B=E$ 、および $C=F$ となる位置での相対振幅を平均化して行った。また、基準レベルに対して計算した補正值の一部（ $1/4$ ）だけを毎回適用することによって、雑音効果を減らした。基準レベルはきわめてゆっくりと変化するため、補正も同様にゆっくりと行う方が得策である。この計測と補正のプロセスは、ディスクの11回転を必要とし、40伝播ステップ（ステップごとに書き込み回転、正規化回転、およびステップ回転が必要なため、120回転必要）ごとに実行したため、サーボ書き込み時間が約9%だけ増加した。図15には16000ステップ全部に対して実行した公称平均基準レベルを伝播ステップ数ごとにプロットした図を示し、図16には $A=D$ となる位置（ $B=E$ 、 $C=F$ となる位置でも平均化）で同じステップに対して実行した相対振幅のプロット図を示す。ここで、トラック間隔には、 $A=D$ となる位置での所期の相対振幅が0.5ではなく0.625に設定されるように、図14に示した値より小さいものを選択した（図14に示した書き込みデータ・トラック間隔の25%という値は、実際には必要以上に大きな値である）。伝播公称平均基準レベルを系統的に調整することによってトラック間隔を一定（ $A=D$ となる位置での相対振幅によって決定）に維持する点で、この方法はかなりうまく動作することがわかる。

【0075】この方法では、各種の変形例が可能である。前述のように、トラック間隔を狭くするには、 $A=D$ となる位置での所期の相対振幅を0.5より大きな値に設定すればよい。また、 $A=D$ となる位置ではなく、 $A=E$ や $A=C$ となる位置などを使用するよう変更してもかまわない。データ・トラック間隔と伝播トラック間隔の比率、トラック間の所期の間隔、および読み取り素子と書き込み素子の相対幅に応じて選択を行う。図14では、伝播パターンに使用するバーストの個数の選択がこれら同じ要因に依存している点にも注意されたい。主要な要件は、伝播トラックが複数個隔たった次のバーストから妨害されずに読み取り素子が個々のバーストを読み取ることができる点である。

#### 【0076】書き込み誤差の補正

書き込み時のPESを元にした基準トラックの補正と特殊なサーボ・ループ・パラメータ（ディスク回転周波数

のすべての倍数でステップ間誤差の増幅係数を1未満に維持するパラメータ）を併用すれば、伝播トラックの形状誤差の増加をきわめてうまく抑制できる。また、機械的外乱をかなりうまく排除するパラメータでサーボを動作させてトラック間の形状誤差を小さく維持すれば、TMRは小さくなる。しかし、各トラックには、このような外乱からのTMRによる誤差がまだ一部残っている。製品サーボパターンはその性質上、ヘッドとディスクの相対位置を符号化するように設計されている。そのため、サーボ書き込み時のTMRによる書き込み誤差は最終的に、後続のファイル操作の最中に製品サーボパターン復調器が取得する半径方向の位置測定における、対応する誤差に反映される。本発明の別の特徴は、製品サーボパターンの見かけの形状に対するこの潜在的なTMRの影響を削減する方法である。この考え方の本質は、伝播サーボ・ループのPESを使用することによって、ファイル操作時にサーボパターンを順次リードバックする際に書き込み位置誤差の影響が取り消されるように書き込み時に製品サーボパターンを変更することである。この技法では、サーボ書き込み伝播プロセスと、ファイル操作時のサーボパターン・リードバック・プロセスの両方を使用する。操作時のディスク・ファイルによって簡単に復号され、サーボ書き込み装置で簡単に実現される好ましいタイプのサーボパターンの変更方法は、サーボIDフィールドを基準としてサーボパターンを時間的にシフトする方法である。

【0077】本プロセスの最初の実施例として、振幅バースト製品サーボパターンを考える。このようなサーボパターンでは通常、サーボIDフィールドの後の特定のタイム・スロット内で、書き込み遷移のバーストが2つ以上検出される。図17に示した簡単な2つのバースト・サーボ・パターンでは、バーストAとバーストBからのリードバック信号が等しくなる位置に、所期のトラック位置が定義されている。従来のサーボパターン復調器では、このリードバック振幅は、各指定バースト・タイム・スロットの末尾付近でサンプリングとデジタル化が行われ、バースト振幅をフィルタリングした平均値となる。図18ないし22は本発明の復調技法に対応した波形を示し、図23は該当する回路のブロック図である。リードバック信号は、従来の復調器と同様に整流回路で検出されるが、その出力はADCによってデジタル化される前に、ゲート機能付き積分回路に入る。セクタID検出器が供給する基準タイミングによって、固定積分器ゲートの信号とADCトリガの信号が遅延倍パルス発生器から得られる。ADCは、トリガされると、ゲート機能付き積分器の出力を、ゲートの立ち下がりがエッジの直前でデジタル化する。このゲート・エッジには、該当積分器をゼロにリセットする役目もある。そのため、デジタル化されたバースト振幅は、整流されたリードバック信号に、積分ゲートと検出されたバースト

信号の間でオーバーラップしている時間量を掛けた値に等しくなる。整流済みのリードバック振幅は、書き込みバーストの半径方向の位置と共に変化し、書き込み時にTMRに追従する。セクタIDを基準としたバーストの書き込み時間を意図的に変更すれば、積分器ゲートと検出されたバースト信号の間のオーバーラップ時間量を、整流済みリードバック振幅に対するTMRの影響をちょうど取り消すことができるように調整できるため、ディジタル化済みのバースト振幅値はサーボ書き込み時にTMRから影響を受けなくなる。バースト書き込み時間は、パターン発生器からの書き込みデータと直列に挿入されたタイミング遅延装置を使って調整できる。Data Delay Devices Corporation (3 Mt. Prospect Ave., Clinton, 米国ニュージャージー州) 製造などのディジタルにプログラム可能な遅延装置を使用すれば、この用途に必要なディジタル制御下のタイミング遅延の高速で正確な調整が行える。

【0078】図24ないし29に示した適切な遅延の計算方法では、サーボ書き込み時の偶発的なTMRによってバーストAの半径方向の位置が不正になっている。本発明に従って、バーストAの書き込み時刻をサーボIDフィールドの末尾に対してシフトする。簡単にするために、リードバック信号がオフトラック位置に従って完全に線形に変化するものと仮定する。半径方向の位置誤差と読み取り素子の幅の比率がfであり、その位置は図24の上方向にずれているものと仮定する。この半径方向の位置誤差のよい推定値は、バーストAを書き込んだ製品サーボパターン領域の直前にある伝播バースト領域で計測した、自己伝播サーボ・ループのPESで与えられる。上から下に向かうパターン伝播処理の場合、パターン伝播バースト(図示せず)の下側のエッジは所期のトラック位置に一致し、上方向の位置誤差は伝播バーストのリードバック振幅を増大させることになる。そのため、PESの読み取り値が $-f$ に等しくなるが、それは基準値から正規化済みリードバック振幅を引いた差がPESだからである。製品サーボパターンのバーストAの正規化リードバック振幅も、 $-f$ だけシフトされる。つまり、バースト・エッジが記録用変換器の中心より上にあるため、本来の値より小さくなる。これにより、積分された信号の勾配がゆるくなる。ADCトリガ・パルス時(ディジタル化されたバースト振幅値に対応)での積分器の出力信号は、バーストAを $t$  (

【数1】

$$t = \frac{PES \times T}{PES - V}$$

) だけ後ろにシフトすれば、正しい値に復元できる。ここで、Tはシフトを行わない場合の通常のオーバーラップ時間であり、VはバーストAの半径方向の位置誤差がないと見込まれる整流済みリードバック振幅(オントラック信号に対して正規化)である。Vの値は通常、0.5

になる。というのは、バーストAとバーストBの振幅が等しくなる位置で2つのバースト・サーボパターンがデータ・トラックを定義することになり、書き込みバースト・エッジは図17のように位置合せされるからである。

【0079】バーストBの半径方向の位置誤差も同様な方法で取り消すことができるが、この場合は時間をバーストAと逆の方向にシフトしなければならない。なぜなら、下側のエッジの代わりに、バーストBの上側のエッジを使用するからである。したがって、サーボ書き込み時の上方向の位置誤差は、製品復調器が検出するバーストBの振幅を増加させることになり、それを補償するには当該バーストをもっと早い時点にシフトする必要がある。これは、マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラに書き込み対象のバースト・タイプを追跡させ、それに応じて時間シフトの符号を調整させることにより、容易に調整できる。

【0080】製品サーボパターンがバーストの両方のエッジを使用して各トラックの位置の定義またはトラック間の位置誤差の決定を行う場合は、状況がもう少し複雑になる。たとえば、バーストAの下側のエッジを使用してあるデータ・トラックの位置(およびバーストBの上側のエッジ)を定義し、バーストAの上側のエッジを使用して隣接するデータ・トラックの位置(および他のバーストBの下側のエッジ)を定義することができる。バーストAを後で書き込むと、バーストAの下側のエッジの半径方向の位置誤差の影響は取り消されるが、バーストAの上側のエッジで見られる誤差は2倍になる。1つの解決方法は、バースト中に開始してバースト後に終了するのではなく、バースト前に開始してバースト中に終了するように、これら交互のエッジ位置の方向にゲート信号をシフトすることである。すなわち、バーストAを時間的に後ろにシフトすると、ゲートと検出されたバースト振幅信号の間のオーバーラップ時間が短くなる。このように、サーボ書き込み時にバーストの時間を一意にシフトすれば、どちらかのバースト・エッジの半径方向の位置誤差が取り消されることになる。これら2つのゲートの遅延時間は、データ・トラックに対するバースト・エッジの事前割り当てに応じて、ディスク・ファイル・サーボパターン復調器で交互に選択されることになる。

【0081】位相符号化サーボパターンの場合は、2つのバースト間のリードバック信号の相対位相が、最終的に検出される位置に依存した量になる。そのため、半径方向の位置誤差は、検出されるパターン内の位相誤差にかなり直接的に対応し、サーボ書き込み時にバーストの1つに適切な時間シフトを適用すればきわめて簡単に取り消すことができる。この場合、製品サーボパターン復調器の特別な変更は不要である。

【0082】製品サーボパターンのタイプに関係なく、この誤差取り消し技法では、製品サーボパターンと振幅

バースト伝播パターンの両方を各ステップで補正する必要がある。これを行わないと、伝播サーボ・ループは次のステップで書き込んでいる最中に書き込み済み伝播パターン誤差に従うことになり、そのため次のステップで書き込まれるすべてのパターン（伝播バーストと製品サーボパターン）にそのイメージが伝達されることになる。これは、1ステップ後に誤差を再度出現させることと同じである。前述のように、書き込み済み誤差はサーボ・ループ内の基準信号の変調と同じように振る舞い、それに対する応答はサーボ・ループの閉ループ応答で与えられる。そのため、次のステップに伝達されるイメージは、時系列波形をサーボ・ループに適用した場合と同様に、閉ループ応答に書き込み済み誤差信号を掛け付けた値になる。書き込み済み誤差に対するこの応答を防止するには、所期の伝播トラック上に直接配置された読み取り素子によって検出された際に、対応するバーストの予期される振幅に基準テーブルの各値が一致するように、書き込み時に判明している位置誤差を反映するよう基準テーブル値を調整することである。製品サーボパターンに対して補正を行う場合とまったく同様に、書き込み時に判明している位置誤差は、書き込み回転中にパターン伝播サーボ・ループのPESを読み取った値にすぎない。図6では、リードバック振幅をEだけ変化させる不正位置の伝播バーストにより、サーボPESが-Eだけ変化している。基準トラック値Rがその公称平均値から同量のEだけ増えれば、正味の結果ではサーボPESがまったく変化せず、そのため書き込み済み誤差によるアクチュエータからの応答はなくなることになる。伝播は下向きに進むことを念頭に置いて図5を見れば、位置不正バーストの書き込み中に記録用変換器が下にシフトされすぎ、その結果リードバック信号が所期値より小さくなっていることがわかる。PESは基準値から位置信号を引いた値であるため、書き込み時のPESはEだけ大きくなっていることになる。そのため、書き込み回転中に得られたPES値を公称平均基準値に加えて次のステップで使用する基準テーブル値を作成すれば、書き込み済み誤差を伝播サーボパターンから除去できる。

【0083】基準テーブル値を変更するというこのプロセスについては、先に誤差の累積について論じた際にすでに述べた。最も簡単な実施例では、書き込み回転中に記録したPESを係数fに掛けて基準テーブルを修正する。前述の説明から、この係数fを1に等しくすれば、最も効率よく誤差が取り消される。しかし、基準テーブルの修正を導入したため、安定性の基準が変更され、ステップ間の誤差増幅係数 $S = C + f(1 - C)$ を1未満にしなければならなくなる。この式からは、fがちょうど1の場合はSも1になり、誤差がなくなることがわかる。トラックの絶対的非真円性を許容範囲内に維持すること、ならびにfを小さくすればトラック間の偶発的な誤差の取り消し効率が悪くなることを勘案して、f

を決定する。サーボパターン内のトラック間での正味偶発誤差は $TMR \times (1 - f)$ に比例することが、解析から判明している。そのため、fは1であることが最適であるが、妥当な範囲内で1に近いだけで偶発誤差を大幅に取り消すことができる。デジタルにフィルタリングしたPES補正を使用するもっと高度な実施例にも、これと同じ解析が適用される。この場合、fは、複素数値を成分に有するベクトルである。この場合は、fの全成分が1にできるだけ近づく（S自体の大きさを1未満に維持することが前提）ように、ステップ係数Sの各成分値を選択することになる。周波数が高い場合は、フーリエ級数によるフィルタリング計算の切り捨ての結果 $f = 0$ となり、偶発誤差の取り消しは無効になる。しかし、一般には、TMR自体は高い周波数内容をほとんど持たないため、この範囲での効果の損失は総RMS誤差から見ればほとんどなくなる。

【0084】図7に示した別の実施例では製品サーボパターンの書き込み処理を分離するが、製品サーボパターンを変更するために使用するPESは、基準テーブル補正値の計算に使用するものとは異なることになる。

【0085】製品サーボパターンの変更に他の方法を使用して、当業者ならば、前述以外の偶発的なTMRの取り消し方法を考案できるはずである。たとえば、振幅バースト・パターンの周波数または持続期間の変更に対応する検出回路と組み合わせ、製品サーボパターン復調器内に組み込むこともできるであろう。本発明の新規の態様は、サーボ書き込み時にリアルタイムPES信号を使用して、サーボパターン位置誤差の補正をその書き込み時に行えることである。このPESに基づいた自己伝播基準テーブル値の変更は、トラック間での偶発的な形状誤差を削減する際にも重要である。この補正は後続のステップでのトラック追従のために適時にフィードフォワードされるため、トラック追従中の複数の回転に渡ってPESを平均化して基準テーブル値を平滑化する前述の方法とは根本的に異なる。また、この補正の目的は、従来の技術で記述されているどのものとも異なる。というのは、この補正がトラック間の偶発的な誤差を減少させるために特に設計されたものであり、効果を挙げるには製品サーボパターンにおける誤差の取り消しと組み合わせ使用しなければならないからである。

【0086】本発明は、反復移動する媒体上へのパターンの書き込みに一般化できることがわかるであろう。このような動作は前述のような媒体の連続回転を構成するが、同時に直線反復運動など任意の反復運動も構成する。したがって、本明細書に記述した自己伝播の各種原理を使用して、どんな媒体もある領域にわたって修飾することができる。

【0087】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0088】(1) 回転ディスクと相互作用するための

ヘッド、前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、および前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段を備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための方法であって、前記ディスクからサーボ位置情報が読み取られるように前記アクチュエータを位置決めするため、サーボ・ループを使用して前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込むステップと、前記サーボ・ループの閉ループ応答が、ディスク回転周波数の整数倍の各点で1未満になるが、機械的外乱を大幅に排除するには十分な大きさを有するように、前記サーボ・ループの周波数依存ゲインを設定するステップとを含む方法。

(2) 前記閉ループ応答がすべての周波数で1未満になることを特徴とする、上記(1)に記載の方法。

(3) 回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および位置誤差信号が、前記ディスクと相互作用する前記ヘッドからのリードバック信号から誘導した計測済み相対位置波形と基準波形の差に等しくなる、前記ディスクの半径方向位置に前記ヘッドを位置決めするためのサーボ制御アクチュエータを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための方法であって、前記サーボ制御アクチュエータを使用して前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込むステップと、前記アクチュエータの閉ループ伝達関数と計測した1つ以上の位置波形の関数として前記基準波形を誘導するステップとを含む方法。

(4) 前記閉ループ伝達関数が周波数に依存し、前記基準波形が前記計測済み位置波形の周波数依存フィルタリングから誘導されることを特徴とする、上記(3)に記載の方法。

(5) 計測済み位置波形が前記ディスクの少なくとも1回転を表すことを特徴とする、上記(3)に記載の方法。

(6) 前記位置誤差信号が少なくとも1トラックの計測に基づいて誘導されることを特徴とする、上記(3)に記載の方法。

(7) 前記の少なくとも1トラックに、前記連続トラックの先行トラックが含まれることを特徴とする、上記(6)に記載の方法。

(8) 閉ループ伝達関数の大きさが1よりはるかに小さいことを特徴とする、上記(3)に記載の方法。

(9) 回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および位置誤差信号が、前記ディスクと相互作用する前記ヘッドからのリードバック信号から誘導した計測済み位置波形と基準波形の差に等しくなる、前記ディスクの半径方向位置に前記ヘッドを位置決めす

るためのサーボ制御アクチュエータを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための方法であって、前記サーボ制御アクチュエータを使用して前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込むステップと、先行する少なくとも1つの半径方向トラックからの前記位置誤差信号に基づいて連続した半径方向トラックの前記基準波形を誘導するステップとを含む方法。

(10) 前記基準波形誘導ステップが、円形トラック上にサーボパターンを書き込んでいる最中に計測した位置誤差信号の離散的フーリエ変換の複素数係数を少なくとも1つ計算するステップと、前記の少なくとも1つの複素数係数に少なくとも1つの複素数フィルタ係数 $f$ を掛けてフィルタリング済み係数を少なくとも1つ作成するステップと、前記の少なくとも1つのフィルタリング済み係数から離散的逆フーリエ変換を計算するステップと、前記離散的逆フーリエ変換を公称平均基準レベルに加えて前記基準波形を形成するステップとを含むことを特徴とする、上記(9)に記載の方法。

(11) 前記サーボ制御アクチュエータの閉ループ応答 $C$ の所定の関数から $f$ が計算されることを特徴とする、上記(10)に記載の方法。

(12)  $f$ を $f = (S - C) / (1 - C)$  ( $S$ の大きさは1未満)で示し、それによってサーボパターンの位置誤差の増加を抑制することを特徴とする、上記(11)に記載の方法。

(13) 回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、および前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段を備えたディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための装置であって、前記ディスクからサーボ位置情報が読み取られるように、前記ヘッドに、前記アクチュエータを位置決めするためのサーボ・ループを含む前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込ませる手段と、前記サーボ・ループの閉ループ応答が、ディスク回転周波数の整数倍の各点で1未満になるが、機械的外乱を大幅に排除するには十分な大きさを有するように、前記サーボ・ループの周波数依存ゲインを設定する手段とを備える装置。

(14) 前記閉ループ応答がすべての周波数で1未満になることを特徴とする、上記(13)に記載の装置。

(15) 回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および位置誤差信号が、前記ディスクと相互作用する前記ヘッドからのリードバック信号から誘導した計測済み相対位置波形と基準波形の差に等しくなる、前記ディスクの半径方向位置に前記ヘッドを位置決めするためのサーボ制御アクチュエータを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行

うための装置であって、前記サーボ制御アクチュエータを使用して前記ディスクの連続した半径方向トラックにサーボパターンを書き込む手段と、前記アクチュエータの閉ループ伝達関数と計測した1つ以上の位置波形の関数として前記基準波形を誘導する手段とを備える装置。

(16) 前記計測済み位置波形の周波数依存フィルタリングによって前記基準波形を誘導する手段を備え、前記閉ループ伝達関数が周波数に依存することを特徴とする、上記(15)に記載の装置。

(17) 計測済み位置波形が前記ディスクの少なくとも1つの回転を表すことを特徴とする、上記(15)に記載の装置。

(18) 前記位置誤差信号が少なくとも1本のトラックからの計測に基づいて誘導されることを特徴とする、上記(15)に記載の装置。

(19) 前記の少なくとも1本のトラックに前記連続トラック内で先行するトラックが含まれることを特徴とする、上記(18)に記載の装置。

(20) 閉ループ伝達関数の大きさが1よりはるかに小さいことを特徴とする、上記(15)に記載の装置。

(21) 回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および位置誤差信号が、前記ディスクと相互作用する前記ヘッドからのリードバック信号から誘導した計測済み位置波形と基準波形の差に等しくなる、前記ディスクの半径方向位置に前記ヘッドを位置決めするためのサーボ制御アクチュエータを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための装置であって、前記サーボ制御アクチュエータを使用して前記ディスクの半径方向の連続したトラックにサーボパターンを書き込む手段と、先行する少なくとも1本の半径方向トラックの前記位置誤差信号に基づいて連続した半径方向トラックの前記基準波形を誘導する手段とを備える装置。

(22) 前記基準波形を誘導する前記手段が円形トラック上にサーボパターンを書き込んでいる最中に計測した位置誤差信号の離散的フーリエ変換の複素数係数を少なくとも1つ計算する手段と、前記の少なくとも1つの複素数係数に少なくとも1つの複素数フィルタ係数 $f$ を掛けてフィルタリング済み係数を少なくとも1つ作成する手段と、前記の少なくとも1つのフィルタリング済み係数から離散的逆フーリエ変換を計算する手段と、前記離散的逆フーリエ変換を公称平均基準レベルに加えて前記基準波形を形成する手段とを備えることを特徴とする、上記(21)に記載の装置。

(23) 前記乗算手段で、前記サーボ制御アクチュエータの閉ループ応答 $C$ の所定の関数から $f$ を計算することを特徴とする、上記(22)に記載の装置。

(24)  $f$ を $f = (S - C) / (1 - C)$  ( $S$ の大きさは1未満)で示し、それによってサーボパターンの位置

誤差の増加を抑制することを特徴とする、上記(23)に記載の装置。

(25) 回転ディスクと相互作用するためのヘッド、前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、前記ディスクに前記ヘッドへの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および前記ディスクから読み取ったサーボ位置情報に従って前記アクチュエータを位置決めするためのサーボ・ループを備えるディスク・ドライブ中で前記ディスクにサーボ書き込みを行うための方法であって、1本のトラックに沿って一連の第1パターンを書き込むステップと、トラックに対する既知の割合だけヘッドを移動させるステップと、前記既知の割合に対する前記ヘッドの偏差を表す偏差情報を決定するための位置情報を前記第1パターンのうち選択したものから読み取り、第2パターン中に符号化された前記偏差情報を使用して前記移動位置に第2パターンを伝播するステップとを含む方法。

(26) 回転ディスク、前記ディスクと相互作用するためのヘッド、および前記ディスクの半径方向に前記ヘッドを位置決めする手段を備えるディスク・ドライブ中でパターンを伝播するための方法であって、(a) 第1トラックに第1パターンを書き込むステップと、(b) 前記第1パターンのうち選択したものの振幅を読み取って格納することにより、選択した振幅を格納するステップと、(c) トラック幅に対するある割合だけ前記ヘッドを移動し、前記の選択した第1パターンに対応する第2パターンを書き込むステップと、(d) ステップ(c)を反復することによって、半径方向で選択された位置に前記ヘッドが到達するまで前記ヘッドを連続して $n$ 回移動させて追加のパターンを書き込むステップと、(e) 前記第1トラックと前記の半径方向で選択した位置との中間位置で前記ヘッドを位置決めするステップと、

(f) 前記中間位置に前記ヘッドがあるときの前記第1パターンの振幅と、前記の選択して格納した振幅の第1の比率を計算するステップと、(g) 前記中間位置に前記ヘッドがあるときの前記追加パターンの振幅と、前記の選択した位置に前記ヘッドがあるときの振幅の第2の比率を計算するステップと、(h) 前記両方の比率がほぼ等しくなるまで、前記ヘッドを反復して位置決めし、各位置でステップ(f)と(g)を繰り返すステップと、(i) 前記の比率を所期の値と比較して、前記所期の値からの偏差を決定するステップと、(j) 後続の反復するステップ(a)～(i)で前記偏差が最小になるように、連続したパターンの書き込み間隔を調整するステップとを含む方法。

(27) ヘッドの読み取り素子と書き込み素子が別々になっていることを特徴とする、上記(26)に記載の方法。

(28) 自己伝播プロセス時にディスク・ファイルに対するサーボ書き込みの際の半径方向の位置決めに使用さ



れるサーボ・ループの公称平均基準レベルを調整することによって所期のトラック間隔を決定して維持する方法であって、通常のシーケンス処理を中断し1つまたは複数の半径方向位置をバックアップすることによって計測を実行し、離れた1つまたは複数の半径方向位置にある一連のバースト間の相対的バースト振幅の計測に基づいて前記公称平均基準レベルの変化を計算する方法。

(29) 伝播ステップの数がスロット数に等しくなった後のあるスロットでバーストを反復する際に、記録用変換器の読み取り素子が、そのスロット内の他のバーストからの妨害を受けずに各バーストのエッジをまたぐことができるような間隔が存在するように、十分な数の独立タイム・スロットから構成される振幅バースト伝播パターンを確立するステップと、前記公称平均基準レベルの初期推定値を使用して、ある割合の読み取り素子があるタイム・スロットにおいて第1組のバーストの下側の位置とオーバーラップするが、同じ割合の読み取り素子が別のタイム・スロットにおいて第2組のバーストの上側の位置とオーバーラップする、伝播方向と反対方向に較正リードバック位置に読み取り素子が移動できるのに十分な第1のステップ数だけ伝播を行うステップであって、前記の第1組と第2組のバーストが所定の伝播ステップ数Pだけ離して書き込まれ、前記オーバーラップの割合が前記所期のトラック間隔に対応する所定の所期のオーバーラップの割合に等しくなるように前記バーストが前記所期のトラック間隔に対して所定の間隔を有するステップと、読み取り素子を前記較正リードバック位置に移動し、以前に自己伝播プロセスの一部として計測し格納した対応するオントラック振幅で各バーストのリードバック振幅を割った値に等しい計測済みオーバーラップの割合を決定し、前記所期のオーバーラップの割合と前記計測済みオーバーラップの割合の差に $2/P$ を掛けた値に等しい前記公称平均基準レベル減少係数の補正項を計算し、前記補正項またはその一部を前記公称平均基準レベルに加えることによって再較正を行うステップと、所定の第2のステップ数だけ自己伝播を続行し、その後で前記再較正手順を再度実行するステップと、サーボ書き込みが完了するまで、前記第2ステップ数ごとに自己伝播ステップと再較正ステップを繰り返すステップとを含む、上記(28)に記載の方法。

(30) ディスク・ファイルに対するサーボ書き込み時に半径方向の位置決めのために自己伝播を使用して書き込まれたサーボパターンの偶発位置誤差から発生する前記ディスク・ファイルの復調済み位置信号の偏差を取り消す方法であって、製品サーボパターンの前記部分を書き込む時点の直前に計測された自己伝播サーボ・ループの位置誤差信号から計算される変調を、製品サーボパターンの各部分に適用するステップであって、前記変調がディスク・ファイルの通常の操作時に復調済み位置信号を変化させ、その変化が前記偶発位置誤差による前記復

調済み位置信号の偏差と反対方向で値がほとんど等しいことを特徴とするステップと、伝播バーストを書き込む時点に近い時点で計測した自己伝播サーボ・ループの位置誤差信号から計算した修正と公称平均基準レベルを併用して各伝播バーストごとに個別に計算された自己伝播基準テーブル値を使用するステップであって、前記基準テーブル値が、次の伝播ステップでの自己伝播サーボ・ループの位置誤差信号を後で計算する際に前記伝播バーストの偶発位置誤差によるリードバック振幅の変化を大幅に取り消すことができるようなものであるステップとを含む方法。

(31) 前記ディスクと相互作用するためのヘッド、ディスクの半径方向にヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、およびアクチュエータの位置を制御するためのサーボ・ループを備えるディスク・ドライブにサーボ書き込みを行う方法であって、伝播バースト書き込み時にサーボ・ループの周波数依存ゲインを1未満の値に設定するステップと、製品サーボ・パターンの書き込み時にサーボ・ループの周波数依存ゲインを別の値に設定するステップとを含む方法。

(32) ディスクの半径方向の任意の位置にヘッドを位置決めする手段を備えるディスク・ドライブ中で回転ディスクに自己サーボ書き込みを行うための装置であって、ディスク上の特定のセクタへの読み書きを制御するためのタイミング回路、伝播バーストと製品サーボパターン用の書き込みデータを生成するためのパターン発生器、書き込みデータの相対的タイミングを調整するための時間遅延装置、ディスクに書き込まれた遷移のリードバック振幅を計測するための振幅検出回路、計測したリードバック振幅値とディスク基準トラック値を含む量を格納するためのメモリ、瞬間的なリードバック振幅を対応する元の全トラック振幅で正規化するための除算器、マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ、および高速のステップ移動と停止を可能にし、前記ディスクにサーボ書き込みを行う際にトラック形状誤差の増加を抑える、可変制御パラメータを有するサーボ・コントローラを備える装置。

(33) それぞれ複数の遷移から構成されるバーストが複数個、異なる半径方向位置にある複数個の各トラックに沿って書き込めるようにディスク・ファイルの内部記録用変換器を制御する手段、任意の前記バーストからの磁気信号のリードバック振幅を決定して格納する手段であって、前記リードバック振幅がディスクの各回転で更新される手段、ディスクの回転周波数の整数倍に等しい任意の周波数で増幅なしで機械的外乱を全般的に大幅に排除するという特性を備えた閉ループ伝達関数を有するサーボ位置決め用制御ループを備え、記録用変換器を前記半径方向位置に位置決めするために内部アクチュエータを制御する手段、前記複数のバーストを前記半径方向位置の第1に書き込む手段、前記半径方向第1位置に書

き込まれた前記複数のバーストのそれぞれについて、バースト間の間隔より短い時間に格納された第1組の基準振幅のそれぞれから前記リードバック振幅を引くことによって前記サーボ位置決め用制御ループの位置誤差信号を作成する手段であって、前記位置誤差信号によって、前記位置誤差信号がほとんどゼロになるような前記半径方向位置の第2の位置に内部アクチュエータが移動される手段、前記内部アクチュエータの前記第2の半径方向位置への前記の移動を完了させることができる第1の所定の時間遅延の後で、前記第2の半径方向位置に前記複数のバーストを書き込む手段であって、前記第2の半径方向位置における前記複数のバーストのそれぞれが、前記第1の半径方向位置に書き込まれた前記複数のバーストのそれぞれの後に第2の所定の時間遅延で書き込まれ、前記位置誤差信号が、前記第1の半径方向位置に書き込まれた前記複数のバーストの前記リードバック振幅から決定され続ける手段、および前記サーボ位置決め用制御ループの前記位置誤差信号の作成を、現半径方向位置に書き込まれた前記複数のバーストにおける前記リードバック振幅の各振幅をバースト間の間隔より短い時間に格納された1組の基準振幅のそれぞれから減算するように切り替えるプロセス全体を通してシーケンス処理を反復する手段であって、前記位置誤差信号によって、前記位置誤差信号がほぼゼロになる次の半径方向位置まで内部アクチュエータが移動され、続いて前記内部アクチュエータの前記次の半径方向位置への移動を完了させることができる前記第1所定の時間遅延の後に前記次の半径方向位置に前記複数のバーストを書き込み、前記次の半径方向位置における前記複数のバーストのそれぞれが前記現半径方向位置に書き込まれた前記複数のバーストのそれぞれの後に次の所定の時間遅延で書き込まれ、前記位置誤差信号が前記現半径方向位置に書き込まれた前記複数のバーストの前記リードバック振幅から決定され続ける手段を備えるディスク・ファイル・サーボ書き込み装置。

( 3 4 ) 前記位置誤差信号が、前記複数のバーストのそれぞれについて、正規化されたリードバック振幅を前記格納済み基準振幅のそれぞれから減算することによって作成され、前記バーストを書き込んでからアクチュエータを移動させるまでの間にディスクの余分な回転の最中に計測され格納された1組の振幅中の対応する素子で前記リードバック振幅のそれぞれを除算して、前記正規化済みリードバック振幅が計算されることを特徴とする、上記 ( 3 3 ) に記載の装置。

( 3 5 ) 前記位置誤差信号の作成に使用される前記格納済み基準振幅をシーケンス処理全体を通してある間隔で変更することによって、トラック間隔がディスク全体で所期の関数形式に綿密に従うようにすることを特徴とする、上記 ( 3 3 ) に記載の装置。

( 3 6 ) 通常のシーケンス処理を中断し1つまたは複数

個の半径方向位置をバックアップすることによって計測を実行し、半径方向位置が1つまたは複数個離れているバースト間での相対的サーボ振幅の計測に基づいて格納済み基準振幅の変化を計算することを特徴とする、上記 ( 3 5 ) に記載の装置。

( 3 7 ) 格納済み基準振幅の変化が各セクタで異なり、対応するバーストが書き込まれた期間中に計測された位置誤差信号の格納済みの値を使用して計算されることを特徴とする、上記 ( 3 5 ) に記載の装置。

10 ( 3 8 ) 回転ディスク、読み取り素子と書き込み素子が別々になっており、前記ヘッドを前記ディスクの半径方向で位置決めするためのアクチュエータ用ヘッド、および前記ディスクに書き込まれた自己サーボ書き込みパターンを備えるディスク・ドライブであって、系統的誤差を除去することによってトラック間隔がディスク面全体で所期の関数に従うように前記パターンが書き込まれることを特徴とするディスク・ドライブ。

( 3 9 ) 回転ディスク、ヘッドと、前記ヘッドを前記ディスクの半径方向で位置決めするためのアクチュエータ、および前記ディスク上に自己サーボ書き込みパターンを書き込む手段を備えるディスク・ドライブであって、系統的誤差を除去することによって、トラック間隔が該当ディスク面全体で所期の関数に従うように前記パターンが書き込まれることを特徴とするディスク・ドライブ。

( 4 0 ) 往復媒体と相互作用するためのヘッド、ヘッドを媒体に対して位置決めするためのアクチュエータ、および前記ヘッドに前記媒体からの情報の書き込みと読み取りを行わせる手段を備える媒体にパターンを書き込むための方法であって、前記媒体からサーボ位置情報が読み取られるように、前記アクチュエータを位置決めするためにサーボ・ループを使用して前記媒体の連続したトラックにパターンを書き込むステップ、前記サーボの閉ループ応答が、往復周波数の整数倍の各点で1未満になるが、機械的外乱を大幅に排除するには十分な大きさを有するように、前記サーボ・ループの周波数依存ゲインを設定するステップを含む方法。

( 4 1 ) 往復媒体と相互作用するためのヘッド、媒体に対してヘッドを位置決めするためのアクチュエータ、前記ヘッドに前記媒体への情報の書き込みと読み取りを行わせる手段、および前記媒体から読み取ったサーボ位置情報に従って前記アクチュエータを位置決めするためのサーボ・ループを備える媒体にパターンを書き込むための方法であって、1本のトラックに沿って一連の第1パターンを書き込むステップと、トラックに対する既知の割合だけヘッドを移動させるステップと、前記既知の割合に対する前記ヘッドの偏差を表す偏差情報を決定するための位置情報を前記第1パターンのうち選択したものから読み取り、第2パターン中に符号化された前記偏差情報を使用して、前記移動位置に前記第2パターンを伝

播するステップとを含む方法。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態の主要な素子を示すブロック図である。

【図 2】伝播トラック、ディスク・セクタ、および伝播バーストの関係を示す図である。

【図 3】本発明の 1 実施形態に関する基本的なプロセス・ステップを示す流れ図である。

【図 4】伝播パラメータの計算プロセスを示す流れ図である。

【図 5】所期のトラックに関する伝播バーストの適正位置と不正位置の関係を示す図である。

【図 6】図 5 に示したバーストの信号がどのように組み合わせられて位置誤差信号が形成されるかを示すサーボ・ループを示す図である。

【図 7】多くのプロセス・ステップが図 3 と同じである、本発明の代替実施形態の基本的プロセス・ステップを示す流れ図である。

【図 8】ディスクの回転周波数 (90 Hz) の整数倍位置で閉ループ応答が 1 より小さくなるようなパラメータ値を有する P I D サーボ制御ループについて、閉ループ・サーボ応答の大きさをプロットした図である。

【図 9】ディスクの回転周波数 (90 Hz) の 2 倍および 3 倍の位置で閉ループ応答が 1 より大きくなるようなパラメータ値を有する P I D サーボ制御ループについて、閉ループ・サーボ応答の大きさをプロットした図である。

【図 10】図 8 のサーボ・パラメータを使用して自己伝播の実験で測定した非真円トラックの 180 Hz のフーリエ成分をプロットした図と、一番外側のトラックが伝播ステップ 60 に対応する、実際のトラックの形状を示す図である。

【図 11】図 9 のサーボ・パラメータを使用して自己伝播の実験で測定した非真円トラックの 180 Hz のフーリエ成分をプロットした図と、一番外側のトラックが伝播ステップ 60 に対応する、実際のトラックの形状を示す図である。

【図 12】読み取り素子と書き込み素子が別々の位置にある記録用変換器の拡大構成図である。

【図 13】図 12 で示したような記録用変換器で得られる、正規化したリードバック振幅をオフトラック位置に対してプロットした理想的な図である。

【図 14】ユーザ・データ・トラックに関連した各種の伝播バーストの位置と、伝播バースト A と D のリードバック振幅が等しくなるように位置決めした読み取り素子を示す図である。

【図 15】図 12 に示した別々の読み取り素子と書き込み素子を備える記録用変換器を使用した自己伝播の実験から得られた、A=D となるサーボ位置で周期的にバックアップし、平均相対バースト振幅を計測することによ

り、公称平均基準値に対する調整を加えた、公称平均基準値を伝播ステップ数に対してプロットした図である。

【図 16】トラック間隔が正確に一定に維持されている様子を示す、図 15 に示したのと同じ実験から得られた平均相対バースト振幅をプロットした図である。

【図 17】バーストを 2 つ有する振幅サーボパターン内におけるバースト A とバースト B の相対位置、セクタ I D フィールド、およびデータ・トラック上で中心に配置された読み取り素子を示す図である。

10 【図 18】ゲート機能付き積分器型製品サーボパターン復調器に関連する各種の信号波形を示す図である。

【図 19】ゲート機能付き積分器型製品サーボパターン復調器に関連する各種の信号波形を示す図である。

【図 20】ゲート機能付き積分器型製品サーボパターン復調器に関連する各種の信号波形を示す図である。

【図 21】ゲート機能付き積分器型製品サーボパターン復調器に関連する各種の信号波形を示す図である。

【図 22】ゲート機能付き積分器型製品サーボパターン復調器に関連する各種の信号波形を示す図である。

20 【図 23】ゲート機能付き積分器型パターン復調器に関連する回路素子のブロック図である。

【図 24】書き込み時の TMR 誤差のためにバースト A の位置が半径方向でずれている、バーストを 2 つ有する振幅サーボパターンの図 17 と同様の特徴を示す図である。

【図 25】図 24 の不正なサーボパターン・バースト位置に対応する、図 18 ないし 22 と同様な信号波形を示す図である。

【図 26】図 24 の不正なサーボパターン・バースト位置に対応する、図 18 ないし 22 と同様な信号波形を示す図である。

【図 27】図 24 の不正なサーボパターン・バースト位置に対応する、図 18 ないし 22 と同様な信号波形を示す図である。

【図 28】図 24 の不正なサーボパターン・バースト位置に対応する、図 18 ないし 22 と同様な信号波形を示す図である。

【図 29】図 24 の不正なサーボパターン・バースト位置に対応する、図 18 ないし 22 と同様な信号波形を示す図である。

【符号の説明】

27 サーボパターン復調器

28 読み取り／書き込み用電子回路

30 パターン発生器

31 タイミング遅延ユニット

32 タイミング・コントローラ

33 マイクロプロセッサ・シーケンス・コントローラ

34 振幅復調器

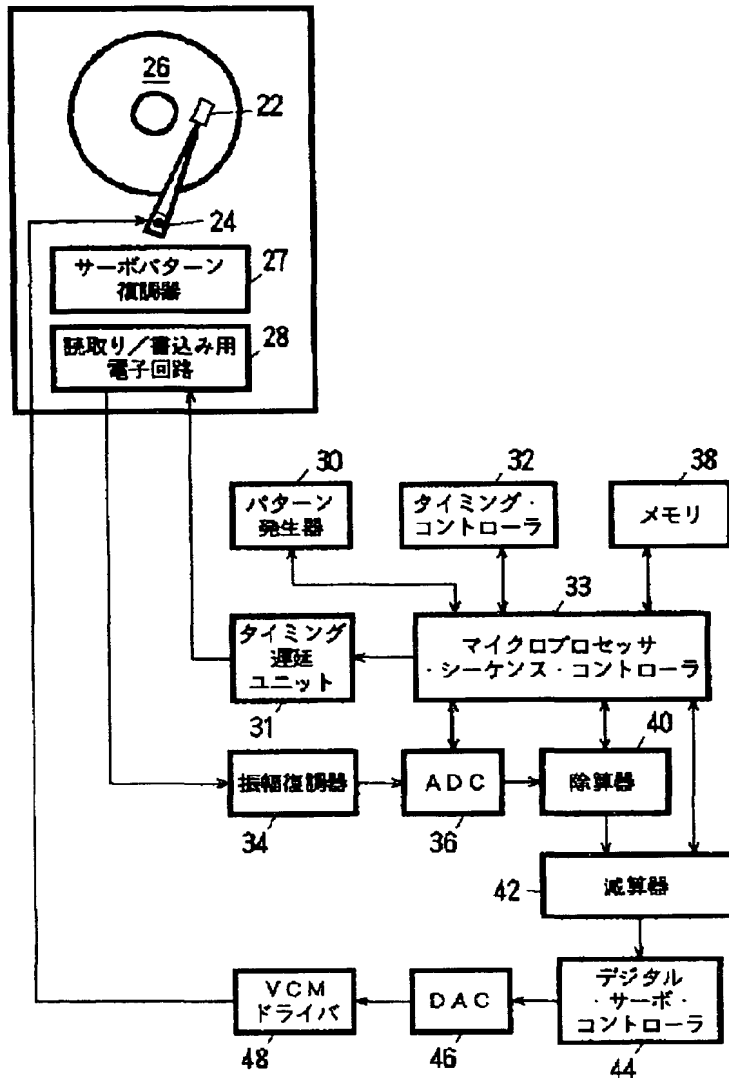
36 A D C

50 38 メモリ

- 53
- 40 除算器  
42 減算器  
44 デジタル・サーボ・コントローラ

- 54
- \* 46 DAC  
48 VCMドライバ  
\*

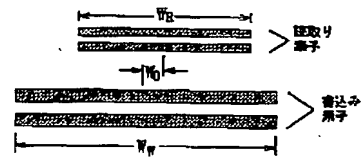
【図1】



【図17】



【図12】



【図20】



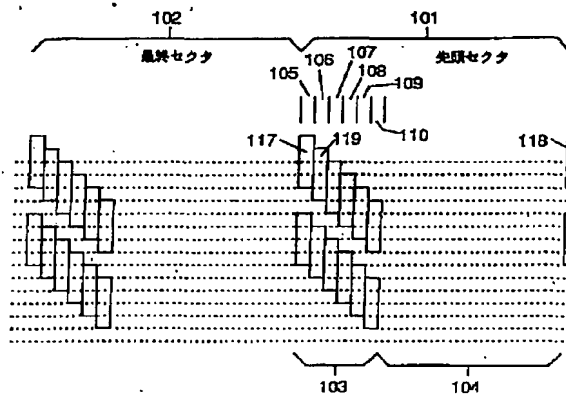
【図18】



【図19】



【図 2】



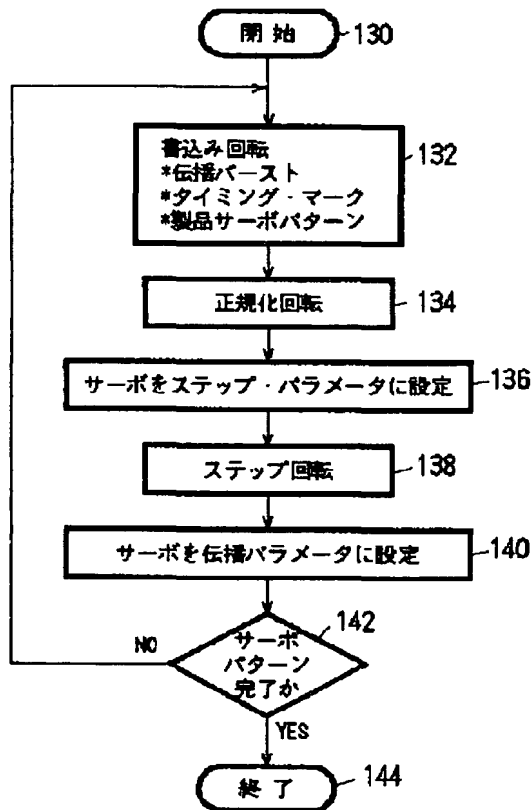
【図 2 1】



【図 2 4】



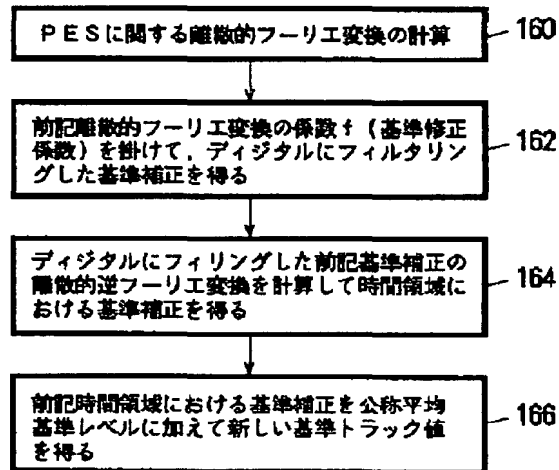
【図 3】



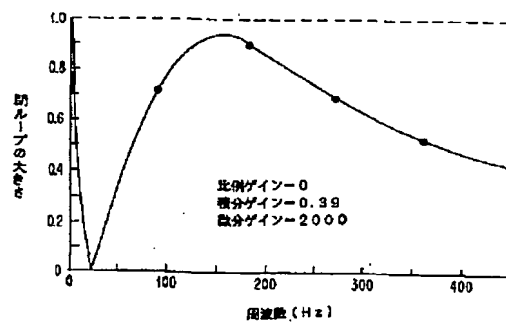
【図 2 2】



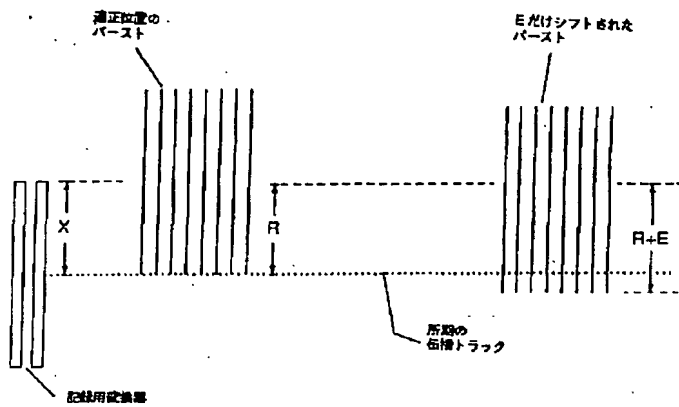
【図 4】



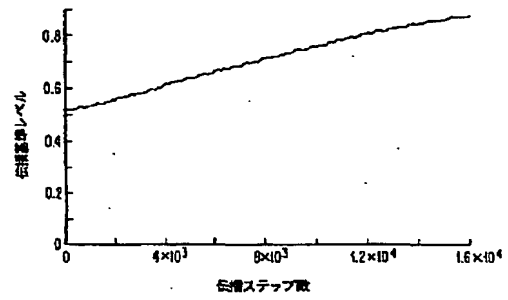
【図 8】



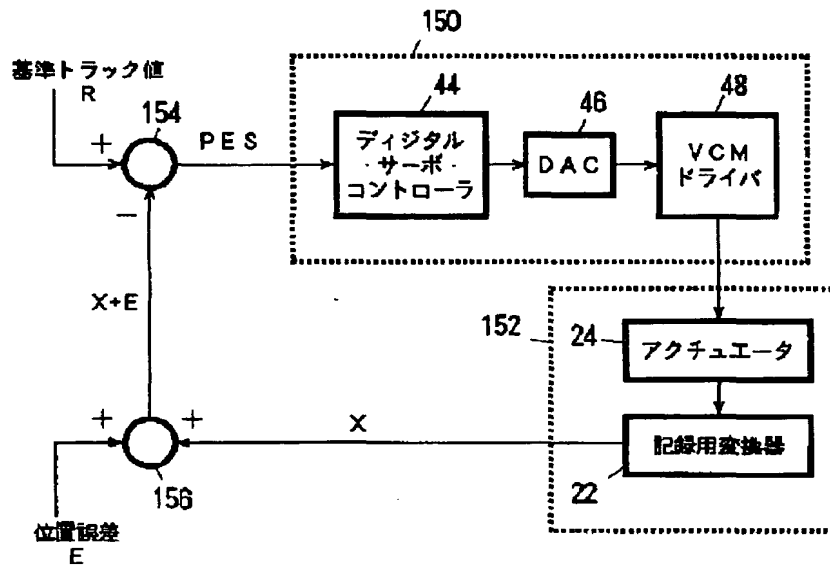
【図5】



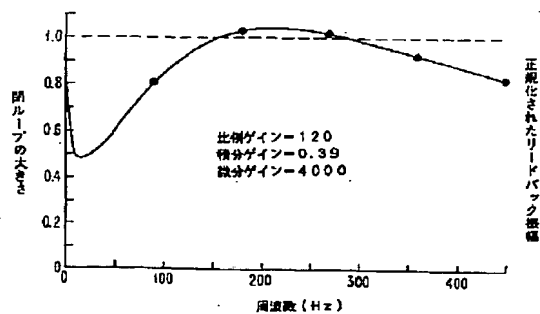
【図15】



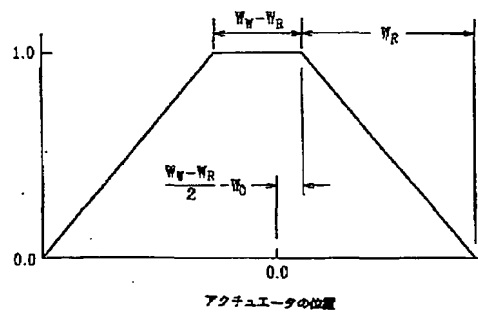
【図6】



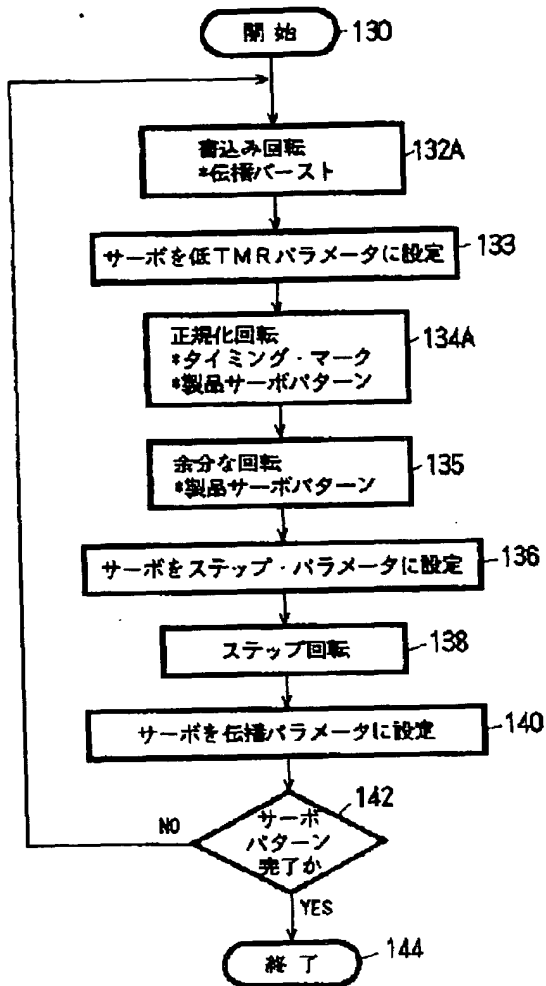
【図9】



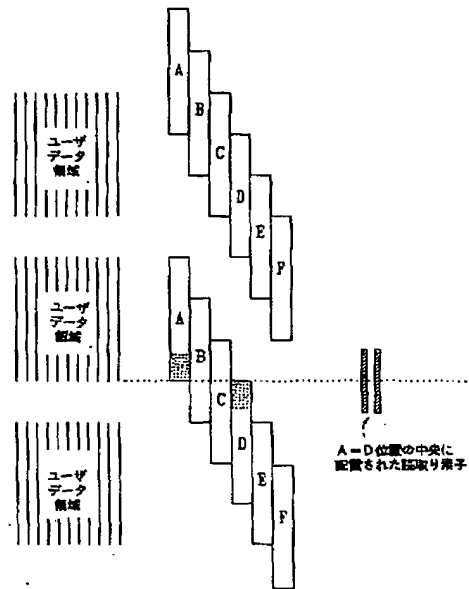
【図13】



【図 7】



【図 14】



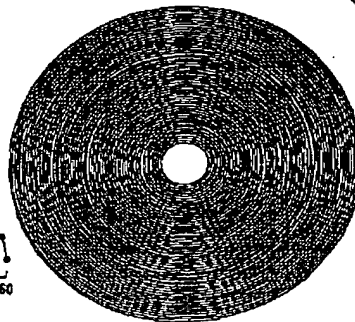
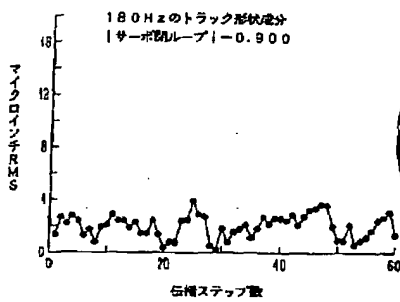
【図 25】

セクタIDのパルス

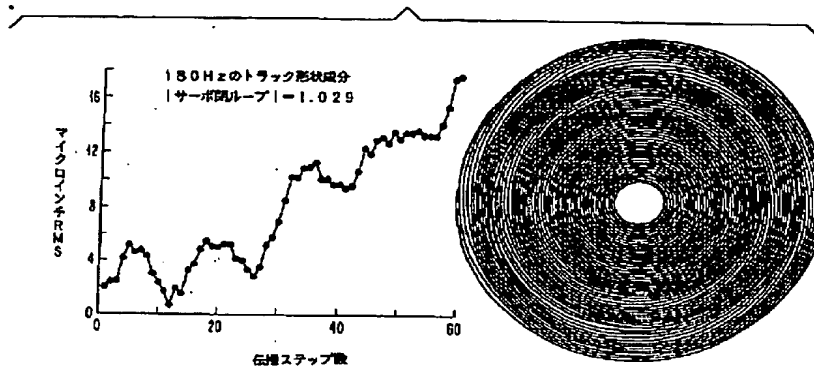
【図 26】

磁気リードバック

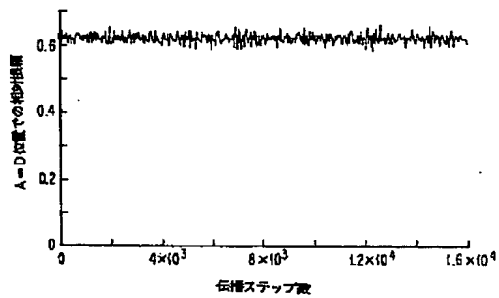
【図 10】



【図 1 1】



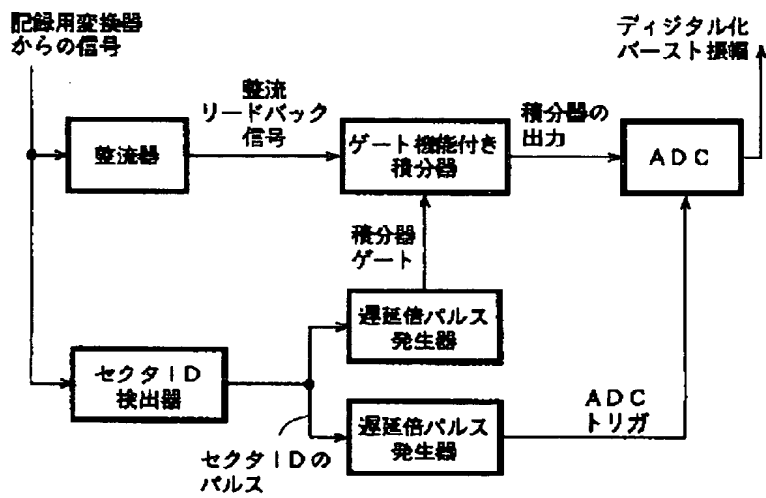
【図 1 6】



【図 2 7】



【図 2 3】



【図 2 8】



【図 2 9】





フロントページの続き

(72)発明者、 マーク・ディー・シュルツ  
アメリカ合衆国10523 ニューヨーク州エ  
ルムスフォード サウス・ストーン・アベ  
ニュー 35

(72)発明者 バックネル・シー・ウェブ  
アメリカ合衆国10562 ニューヨーク州オ  
シニングシスカ・ロード 811  
(72)発明者 ティモシー・ジョーゼフ・チェイナー  
アメリカ合衆国10541 ニューヨーク州マ  
ホバックバレット・ヒル・ロード 161